



Modulaarisen kiinnitysjärjestelmän suunnittelu hitsausrobotisoluun

Lauri Taipale

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2014
Kone- ja tuotantotekniikka
Modernit tuotantojärjestel-
mät

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka
Modernit tuotantojärjestelmät

Lauri Taipale:
Modulaarisen kiinnitysjärjestelmän suunnittelu hitsausrobotisoluun

Opinnäytetyö 50 sivua, joista liitteitä 12 sivua
Huhtikuu 2014

Opinnäytetyön aiheena oli suunnitella hitsausrobotin kääntöpöytään kiinnitettävä hitsaustaso Tampereen ammattikorkeakoulun robottilaboratoriossa olevaan robottihitsaus-soluun. Hitsaustaso korvaa aiemman huterarakenteisen tason.

Vaativuutena oli suunnitella taso mahdollisimman modulaariseksi. Tämä mahdollistaisi hitsattavien kappaleiden kiinnittämisen ja paikoittamisen erilaisilla standardikiinnittimillä ja komponenteilla. Standardikiinnityskomponentteja tilattiin ulkopuoliselta toimittajalta. Näin säästyttiin monimutkaisten komponenttien valmistamiselta koulun tiloissa.

Teoriaosuudessa käydään läpi hitsauskiinnittimen suunnitteluun liittyviä asioita sekä hitsausrobottien ja MIG/MAG-hitsauksen teoriaa.

Opinnäytetyön toteutusosio koostuu lähtötilanteen tarkastelusta, työn vaatimuksista ja hitsaustason suunnittelusta 3D-CAD-ohjelmassa. Opinnäytetyössä käytettiin Autodesk Inventor -3D-CAD-ohjelmaa.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Mechanical and Production Engineering
Modern Production Systems

Lauri Taipale:
Designing of a modular fixture system to a robot cell

Bachelor's thesis 50 pages, appendices 12 pages
April 2014

The purpose of this thesis was to design a welding surface fixed to a robots turntable at a robot laboratory in the Tampere University of Applied Sciences. The welding surface is supposed to replace an earlier unstable surface.

The requirement was to design a modular surface which enables the use of different types of standardized clamps and positioning components. The standardized components were purchased from an external supplier. This was done to avoid the manufacturing of complex components at the schools premises.

The theory part of the thesis examines details related to fixture designing as well as basic theory of welding robots and MIG/MAG-welding.

The starting point and the requirements for the new fixture system are examined in the execution part of the thesis as well as designing the welding surface in a 3D mechanical CAD design software. The 3D CAD software used was Autodesk Inventor.

Key words: welding fixture, modularity, welding robot

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	Hitsauskiinnitin	7
2.1	Hitsauskiinnittimen määritelmä.....	7
2.2	Kappaleenkäsittely robottihitsauksessa	8
2.3	Hitsauskiinnittimen suunnittelu	9
2.4	Osien paikoittaminen.....	10
2.5	Kappaleen kiinnittäminen.....	11
2.6	Hitsauskiinnittimen suunnittelun ja valmistamisen kustannukset	12
2.7	Modulaarinen hitsauskiinnitinjärjestelmä.....	12
2.8	Kiinnittimen materiaalin valinta	13
3	Robottiikka	14
3.1	Teollisuusrobotti.....	14
3.2	Teollisuusrobotin ominaisuudet	15
3.3	Teollisuusrobotin koordinaatisto	17
3.4	Teollisuusrobotin ohjausjärjestelmä	18
3.5	Robottien ohjelmointi	18
3.5.1	Johdattamalla ohjelmointi.....	19
3.5.2	Opettamalla ohjelmointi	19
3.5.3	Mallipohjainen etäohjelmointi (off-line)	20
3.6	Robottihitsaus.....	21
3.7	MIG/MAG-hitsaaminen	22
4	Modulaarisen hitsauskiinnittimen suunnittelun lähtökohdat ja vaatimukset	25
4.1	Lähtökohdat.....	25
4.2	Vaatimukset uudelle kiinnitinjärjestelmälle	27
4.3	Alumiiniseoksen valinta	30
5	Mallintaminen	31
5.1	Suunnittelutyössä esiintyneet haasteet.....	34
5.2	Kiinnitysjärjestelmän asennukseen ja käyttöönottoon liittyvät haasteet.....	35
6	Yhteenvedo	37
	LÄHTEET.....	38
	LIITTEET	39
	Liite 1.	39
	Liite 2.	40
	Liite 3.	41
	Liite 4.	42
	Liite 5.	43
	Liite 6.	44
	Liite 7.	45
	Liite 8.	46
	Liite 9.	47
	Liite 10	48
	Liite 11	49

LYHENTEET JA TERMIT

TAMK	Tampereen ammattikorkeakoulu
MIG	Metal-Arc Inert Gas Welding
MAG	Metal-Arc Active Gas Welding
CAD	Computer-aided-design
DXF	Drawing Interchange Format

1 JOHDANTO

Lähtökohtana tälle opinnäytetyölle oli suunnitella modulaarinen hitsaustaso vanhan huteran hitsaustason tilalle TAMKIn robottilaboratorioon Motoman-merkkisen robotin kääntöpöytään. Modulaarisuudella pyrittiin samaan aikaan mahdollisimman monipuolinen kiinnitinjärjestelmä, joka soveltuu koulukäyttöön. Työ jakaantuu kahteen osaan: teoriaan ja suunnitteluun.

Teoriaosuudessa tarkastellaan hitsauskiinnittimen perusominaisuuksia ja vaatimuksia suunnittelun näkökulmasta. Lisäksi opinnäytetyöhön on koottu teoriaa teollisuusrobo-
teista ja niiden käyttämisestä. Robotteihin liittyvässä teoriassa käydään pääasiassa läpi nivelvarsirobottien ominaisuuksia ja robottien käyttöä MIG/MAG-hitsauksessa.

Suunnitteluosuudessa käydään läpi lähtökohdat, joista modulaarisen tason suunnittelu alkoi. Hitsaustaso ja kiinnitin suunniteltiin Autodesk Inventor -3D-CAD-ohjelmassa. Ohjelman käyttöä tarkastellaan suunnittelutyön yhteydessä.

2 Hitsauskiinnitin

2.1 Hitsauskiinnittimen määritelmä

Robottihitsauksessa hitsauskiinnitin on olennainen osa hitsauslaitteistoa. Sen tehtävänä on varmistaa, että hitsattavat osat pysyvät paikallaan ja toisiinsa nähden oikeassa asemassa koko hitsauksen ajan. Kiinnitin on suunniteltava ja valmistettava huolella, jotta se toimisi halutulla tavalla. (Leino & Meuronen 1987, 3.)

Hitsauskiinnittimiä käytetään myös sarjatuotantovalmisteiden käsinhitsauksessa. Tämä helpottaa lopputuotteen valmistusta sekä parantaa mitta- ja muototarkkuuksia. Käsinhitsauksessa käytetään usein pieniä hitsauskiinnittimiä apulaitteina tietyn osan silloitushitsauksen ajan. (Leino & Meuronen 1987, 3.)

Termeillä jigi ja -kiinnitin on eri merkitys hitsauksen yhteydessä kuin koneistuksessa. Hitsauksessa jigillä tarkoitetaan paikallaan pysyvää työkalua ja kiinnittimellä horisontaalisen tai vertikaalisen akselin ympärilyörivää työkalua. (Hoffman 2004, 257-258.)

Kiinnittimet ja jigit voidaan hitsauksen yhteydessä jakaa kolmeen perustyyppiin: (Hoffman 2004, 257.)

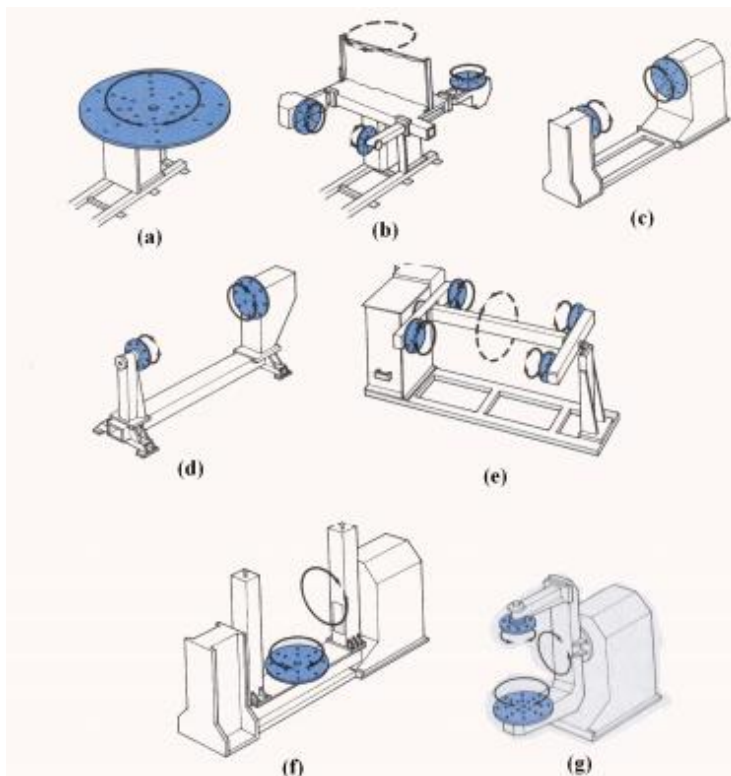
1. Silloituskiinnittimellä tai -jigillä kokoonpantavat kappaleet pidetään oikeilla paikoillaan silloitushitsauksen aikana. Silloituksen jälkeen kappaleet joko hitsataan valmiiksi sellaisinaan tai siirretään toiseen kiinnittimeen tai jigiiin.
2. Hitsauskiinnittimellä tai -jigillä kappale pidetään paikallaan hitsauksen ajan. Silloituksessa kappaleeseen tehdään pieniä hitsejä sopiviin kohtiin, kun taas hitsatessa kappaleet hitsataan kokonaan yhteen. Hitsauskiinnittimet ovat yleensä rakenteeltaan vahvempia hitsauksesta aiheutuvien lämpöjännitysten ja muodonmuutosten ansiosta.
3. Pidättelevää jigiiä tai kiinnitintä käytetään silloitushitsattujen kokoonpanojen valmiiksi hitsaamiseen.

2.2 Kappaleenkäsittely robottihitsauksessa

Robottihitsauksessa käytetään karkeasti jaoteltuna kahta erilaista kappaleenkäsittelijätyyppiä: hitsauspöytätyyppiä ja vastapöytäparityyppiä. Tämän mukaan myös hitsauskiinnittimet voidaan jakaa kahteen päätyyppiin: pöytälevylle asetettaviin ja päistä kiinnitettäviin kiinnittimiin. (Leino & Meuronen 1987, 3.) Erilaisia kappaleenkäsittelylaitteita on esitelty kuvassa 1.

Hitsauspöytätyyppisissä laitteistoissa on kaksi ohjattavaa akselia. Niillä hitsattava kappale saadaan lähes aina edulliseen hitsausasentoon. Kappaleen pöytälevyä vasten oleva puoli jää kuitenkin katveeseen ja sitä ei voida hitsata. (Leino & Meuronen 1987, 3.)

Vastapöytäparityyppisissä kappaleenkäsittelylaitteissa on yleensä vain yksi ohjattava akseli. Päistä kiinnitettäessä kappale pystytään hitsamaan kaikilta suunnilta. Haittapuolena on, että hitsausasentoa ei aina voida valita vapaasti. (Leino & Meuronen 1987, 3.)



KUVA 1. erityyppisiä kappaleenkäsittelylaitteita robottihitsaukseen: a) 1-akselinen hitsauspöytä, b) kaksiasemainen vastapöytäpari, c ja d) 1-akselinen vastapöytäpari, e) kaksiasemainen vastapöytäpari, f) 2-akselinen hitsauspöytä, g) kaksiakselinen vastapöytäpari (Cary 2005, 302)

Hitsauspöytätyyppisessä ratkaisussa hitsauskiinnitin kootaan usein suoran levyrunгон päälle. Levyrunko suojaa samalla hitsauspöydän pintaa hitsausroiskeilta. Hitsauskiinnitin paikoitetaan levyrunkoon hitsauspöydän suhteen esimerkiksi kahdella erikokoisella lieriötapilla. Kiinnitin lukitaan paikalleen kahdella tai useammalla ruuvilla. (Leino & Meuronen 1987, 3.)

Vastapöytäparityyppisessä kappaleenkäsittelylaitteessa hitsauskiinnitin rakennetaan yleensä kehikkoon, johon kiinnitetään kappaleen paikoitukseen ja kiinnittämiseen vaadittavat komponentit. Kappaleenkäsittelylaitteen päissä käytetään tavallisesti lieriötappoja, joilla kehikko paikoitetaan. Kiinnittäminen tapahtuu neljällä tai useammalla ruuvilla. Hitsauskiinnittimen pituusvaihtelujen kompensointi on järkevintä toteuttaa niin, että kappaleenkäsittelylaitteen toinen pää on aksiaalisuunnassa kelluva. (Leino & Meuronen 1987, 3.)

2.3 Hitsauskiinnittimen suunnittelu

Hyvä lähtökohta kiinnittimen suunnitteluun on aloittaa suunnittelu hitsausrobotisolussa valmista kappaletta käyttäen. Suunnittelussa on myös järkevää käyttää robotilla usein operoivan henkilön apua. (Leino & Meuronen 1987, 12.) Mikäli kiinnittimen valmistaminen vaatii piirustuksia, voidaan kiinnitin mallintaa CAD-ohjelmalla.

Onnistuneessa suunnittelutyössä tulee huomioida seuraavat asiat: (Leino & Meuronen 1987, 12; Hoffman 2004, 263.)

- robotti ulottuu kappaleen jokaiseen hitsattavaan kohtaan
- jokaisen hitsin hitsaaminen onnistuu robotilta
- hitsauksen paluuvirta on johdettu luotettavasti ja harkitusti
- kiinnitin ei aiheuta robotille ylimääräisiä liikkeitä
- hitsausasennot ovat järkeviä
- hitsattavat osat ovat kiinnitettävissä ja irtoavat helposti, kun kappale on valmis.
- kiinnittimen tai jiggin päätehtävä on pitää osat oikeilla paikoillaan läpi hitsauksen
- kiinnittimen tai jiggin on pystyttävä tuottamaan mittatarkkoja osia kerta toisensa jälkeen
- hitsauslämmön hallinta täytyy pysyä tasaisena

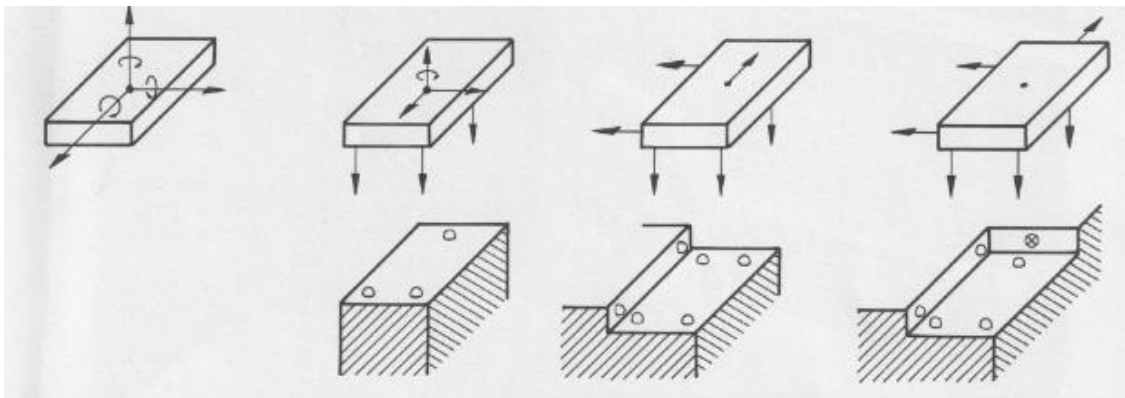
- hitsaukset pitäisi tehdä tasaisella horisontaalisella tasolla
- yhdellä kertaa pitäisi saada toteutettua mahdollisimman monta hitsiä ilman siirtelyä työkalussa.

2.4 Osien paikoittaminen

Hitsauskiinnittimissä osien paikoittamisessa käytetään samoja periaatteita kuin muissakin kiinnittimissä. Kiinnittämisen tarkkuusvaatimus ei kuitenkaan ole hitsatessa yhtä tiukka kuin esimerkiksi lastuavassa työstössä. (Leino & Meuronen 1987, 12.) Railon paikan tarkkuusvaatimus on harvoin alle $\pm 0,5$ mm. Yleensä ± 1 mm:n tarkkuusvaatimus on riittävä. (Leino & Meuronen 1987, 61.)

Tukipisteiden lukumäärä valitaan lähtökohtaisesti 3-2-1-säännöllä: kappaleen suurimmalla paikoitettavalla pinnalla on kolme tukipistettä, seuraavaksi suurimmalla kaksi ja pienimmällä yksi. Lisäksi on huomioitava seuraavat asiat:

- kappaleen vastinpinnoiksi on valittava pinnat, joilla on merkitystä kappaleen mitoitus- ja toimintaperiaatteelle
- samoja vastinpintoja pyritään käyttämään mahdollisimman paljon eri hitsausvaiheissa. (Leino & Meuronen 1987, 12.)



KUVA 2. 3-2-1-säännön mukainen paikoitus ja kappaleen vapausasteet eri tilanteissa (Leino & Meuronen 1987, 12)

Suurikokoisten tai ohuiden levyjen paikoitus kolmella tukipisteellä saattaa aiheuttaa levyn taipumista. Taipumisen estämiseksi tukipisteiden määrää yhdessä tasossa voidaan lisätä tai korvata ne kapeilla tasomaisilla tukipinnoilla. Suuriin tukipintoihin kerääntyy

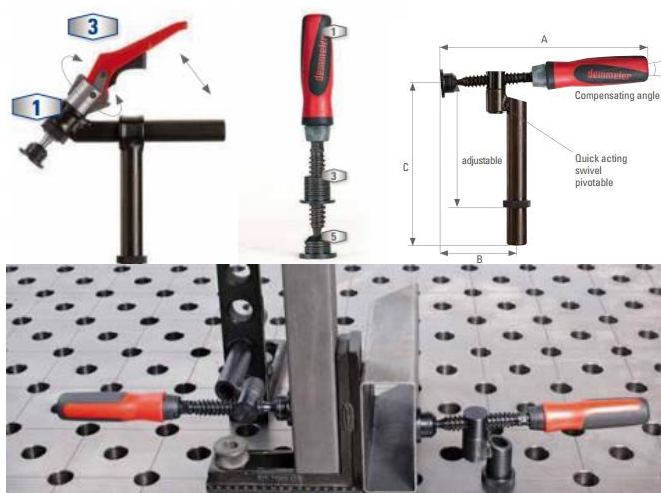
helposti roiskeita ja hitsauksen paluuvirran reitistä tulee epämääräinen. Tästä syystä niitä tulisi välttää. (Leino & Meuronen 1987, 12.)

Ohuita levyjä paikoitettaessa pistemäinen kiinnitysvoima voi aiheuttaa levyn taipumista. Tämä on estettävissä valitsemalla tukipisteeksi sama paikka, mihin kiinnitysvoima kohdistuu. Yleensä suhteellisen pienet kiinnitysvoimat eivät aiheuta taipumista. (Leino & Meuronen 1987, 12.)

2.5 Kappaleen kiinnittäminen

Kiinnittimeen paikoitetut kappaleen on saatava pysymään paikoillaan hitsauksen ajan. Toisinaan tähän riittää maan vetovoima, mutta usein kiinnittäminen erillisellä kiinnitinkomponentilla on tarpeellista ja erityisesti silloin, kun kappale käännetään hitsatessa ylösalaisin. (Leino & Meuronen 1987, 35.)

Tavallisimmin osien kiinnitys toteutetaan käsikäyttöisillä pikakiinnittimillä, jotka perustuvat nivelvipumekanismilla aikaansaatuun itselukittuvuuteen (Leino & Meuronen 1987, 35). Tällaisten kiinnitinkomponenttien käyttö, yhdistettynä sille sopivan kiinnittimen tai jiggin kanssa, helpottaa ja nopeuttaa hitsaustyötä verrattuna esimerkiksi kiristysruuveilla toimivaan paikoitukseen. Muita kiinnitystapoja ovat mm. hydraulisesti tai pneumaattisesti toimivat puristimet sekä magneettikiinnittimet (Leino & Meuronen 1987, 35).



KUVA 3. erilaisia Demmelerin valmistamia kiinnitinkomponentteja sekä kiinnittämistä havainnollistava kuva (Demmeler)

2.6 Hitsauskiinnittimen suunnittelun ja valmistamisen kustannukset

Kiinnittimen suunnittelusta ja valmistuksesta aiheutuvat kiinteät kustannukset lisäävät tuotteen valmistuskustannuksia sitä enemmän, mitä pienempi sarja kiinnittimellä valmistetaan. Kaksi valmistussarjan kannattavuusrajaan vaikuttavaa tekijää ovat kiinnittimen hinta sekä sen suunnitteluun ja valmistamiseen kulunut aika. Ajankäytön merkitys korostuu varsinkin JIT-tuotannossa. (Leino & Meuronen 1987, 3.)

2.7 Modulaarinen hitsauskiinnitinjärjestelmä

Yleisimmin käytössä olevat hitsauskiinnittimet on suunniteltu vain yhden kokoonpanon vaatimuksia varten. Tästä syystä kiinnittimet ovat kalliita ja niiden käyttö on perusteltua vain silloin, kun tuotteita valmistetaan useita. (Hoffman 2004, 260.)

Nykyään useilla yrityksillä tuotteet kuuluvat johonkin tuoteperheeseen. Tällöin ratkaisu voi olla tuoteperhekiinnittimen käyttö. Tuoteperhekiinnittimellä voidaan hitsata useampia eri tuotteita, jolloin kiinnittimiin sitoutuvan pääoman määrää vähenee verrattuna kappalekohtaisien kiinnittimien valmistamiseen. (Leino & Meuronen 1987, 77.)

Nykyaikaisin ratkaisu monenlaisten hitsauskiinnittimien valmistamisen kustannuksista aiheutuvaan ongelmaan on modulaariset hitsauskiinnittimet. Niissä suunnittelijan apuna ovat valmiit standardoidut ratkaisut osien paikoittamiseen ja kiinnittämiseen (Leino & Meuronen 1987, 78).

Valmiit kiinnitinkomponentit löytyvät CAD-ohjelmasta, jolloin ne voidaan määritellä jo ennen kappaleen osavalmistuksen alkamista. Tämä lyhentää kiinnittimien valmistamisesta aiheutuvaa viivettä. Kiinnitin voidaan koota valmiiksi osavalmistuksen yhteydessä, jolloin robottisolussa ei tarvitse tehdä muuta kuin kiinnittimen mahdollinen hienosäätö. (Leino & Meuronen 1987, 78.)

Työn jälkeen modulaarinen kiinnitin voidaan purkaa ja osat käyttää uudestaan toisenlaisen kappaleen kiinnittämiseen. Tämä säästää kiinnittimiin sitoutuvaa pääomaa. (Leino & Meuronen 1987, 78.)

2.8 Kiinnittimen materiaalin valinta

Kiinnittimen materiaalin valinnassa on pidettävä mielessä roiskeiden tarttumisen minimointi sekä hitsausseaman lämmön hallinta. (Leino & Meuronen 1987, 72; Hoffman 2004, 258-260.) Roiskeet ovat merkittävien kiinnittimen tarkkuutta ja toimivuutta heikentävä tekijä.

Hitsattavan railon läheisyyteen kertyy herkästi roiskeita. Näissä paikoissa materiaalina voidaan käyttää mm. kuparia. (Leino & Meuronen 1987, 72). Kupari alumiini ja titaani ovat hyviä lämmönjohtimia. Tästä syystä niiden käyttö hitsausseaman läheisyydessä on perusteltua, sillä ne siirtävät ylimääräisen kuumuuden pois hitsausseamasta ja estävät seaman haitallisen ylikuumentumisen. (Hoffman 2004, 260.) Muita ratkaisuja roiskeiden tarttumisen estämiseksi on mm. pintakarkaistun teräksen käyttö ja roiskeille alttiiden pintojen suojaaminen maalaamalla tai öljysumutetta käyttämällä (Leino & Meuronen 1987, 72).

3 Robotiikka

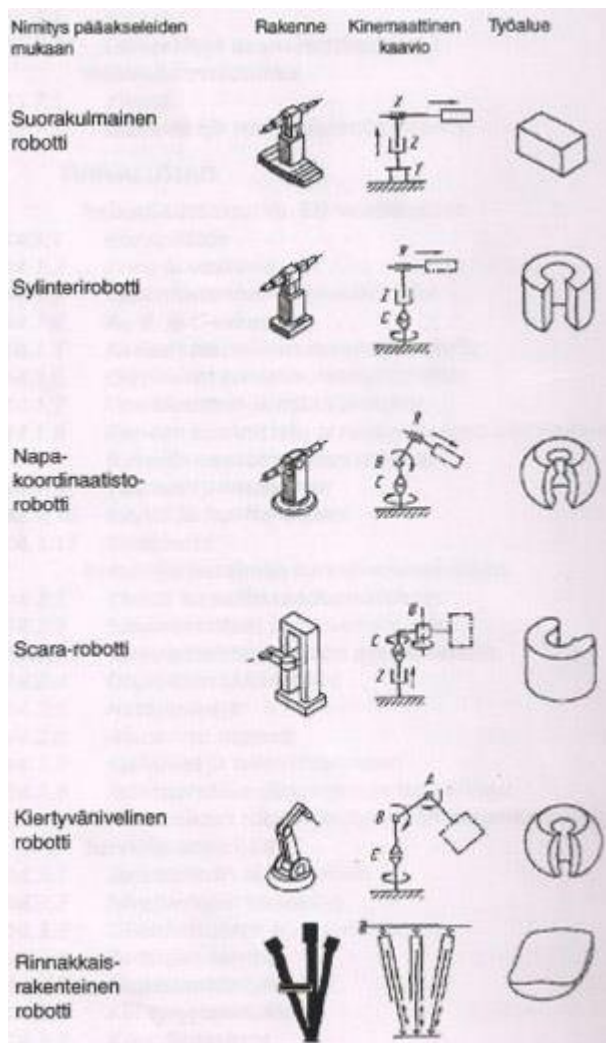
3.1 Teollisuusrobotti

Kansainvälisen robottiyhdistyksen määritelmän mukaan robotti on uudelleen ohjelmoitavissa oleva monipuolinen vähintään kolminivelinen mekaaninen laite, joka on suunniteltu liikuttamaan kappaleita, osia, työkaluja tai erikoislaitteita ohjelmoitavin liikkein monenlaisten tehtävien suorittamiseksi teollisuuden sovelluksissa. (Aalto et al. 1999, 13.)

Nykyaikaisissa aistinohjatuissa robottisovelluksissa ei kuitenkaan riitä pelkkä uudelleenohjelmoitavuus. Robottien liikeratoja tulee päivittää suunnittelutietojen ja ympäristömallien mukaisiksi käyttämällä prosessia tarkkailevia antureita. (Aalto et al. 1999, 13.)

Teollisuusrobotti on yksinkertaistettuna mekaaninen kone, joka siirtää työkalun kiinnitysleikkaa halutulla tavalla. Liikerata voi olla joko em. mukaisesti antureiden perusteella liikkeiden aikana luotu, täysin etukäteen määritelty tai toimintaympäristön tapahtumien perusteella valittu. Robotti koostuu jalustan ja työkalun välillä tukivarsista ja niitä liittäivistä nivelistä, joita ohjataan servotoimilaitteilla. (Aalto et al. 1999, 13.)

Standardissa ISO 8373 määritellään teollisuusrobottien sanastoa sekä yleisimmät robottimallit mekaanisen rakenteen mukaan. Kuvassa 4 on esitelty yleisimmät robottityypit rakenne-esimerkkeineen ja kinemaattisine kaavioineen. (Aalto et al. 1999, 13.)

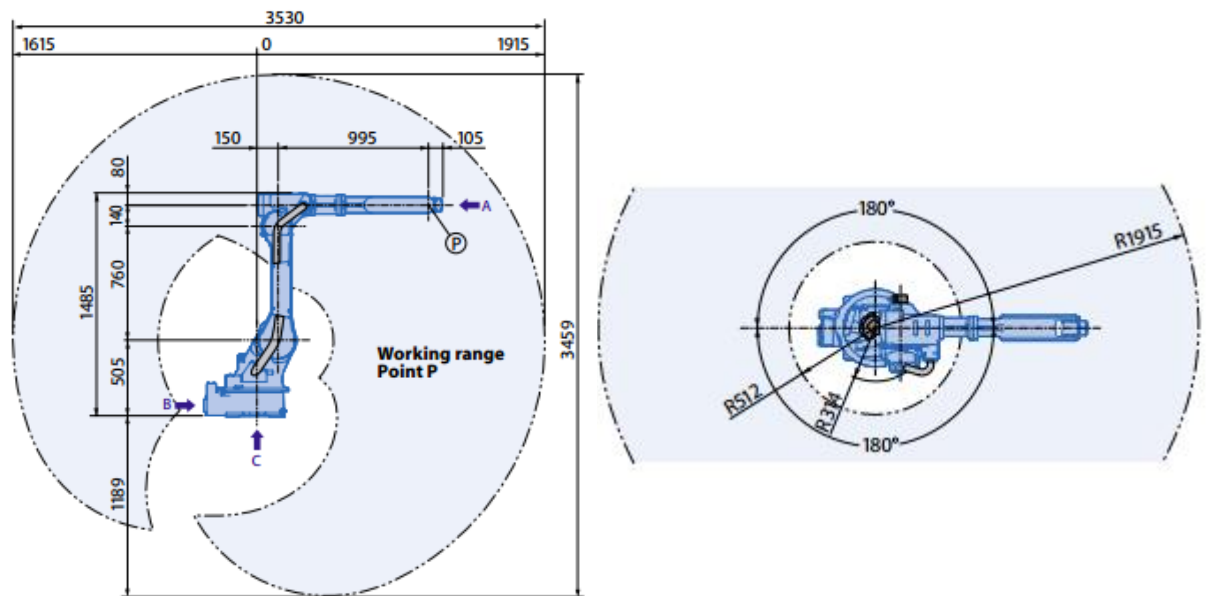


KUVA 4. yleisimmät robottityypit ja niiden rakenne-esimerkit (Aalto et al. 1999, 12)

3.2 Teollisuusrobotin ominaisuudet

Robottien ominaisuuksien mittaamiseen löytyy yksityiskohtainen standardi ISO 9283. Siinä määritelty liikkeiden ominaisuuksien mittaaminen tuo selkeästi esiin robottien epätarkkuudet, eikä standardin mukaisia testaustuloksia usein näe valmistajien esitteissä. (Aalto et al. 1999, 4.)

Esitteissä mainitut ominaisuudet ja niiden mittaustulosten esitystavat vaihtelevat paljon eri valmistajien välillä. Tästä syystä robottien ominaisuuksien vertailua on vaikea tehdä esitteiden perusteella. Yleisimmät esitettävät tiedot roboteista ovat: työalueen profiilit päältä ja sivulta, nivelten suurimmat nopeudet, kantokyky ja paino. Kuvassa 5 on esitelty tyypillisen teollisuusrobotin työalueen profiilit päältä ja sivulta. (Aalto et al. 1999, 14.)



KUVA 5. esimerkki nivelvarsirobotin työalueesta ja ulottuvuuksista (Motoman)

Toistotarkkuudella tarkoitetaan sitä tilastollista tarkkuutta, jolla robotin työkalun jokin piste palaa takaisin aiemmin opetettuun pisteeseen. Absoluuttisella tarkkuudella tarkoitetaan robotin kykyä liikkua sen runkoon sidotussa koordinaatistossa haluttuun pisteeseen. Työkalun mitoista riippuen absoluuttinen tarkkuus on usein kymmeniä tai satoja kertoja toistotarkkuutta epätarkempi. (Aalto et al. 1999, 14.)

Robotit koostuvat tukivarsista, jotka muuttavat keskinäisiä asentoja ja asemiaan nivelten avulla. Robotin yhtä perusliikettä eli niveltä kutsutaan vapausasteeksi. Vapausasteet voivat olla lineaarisia tai kiertyviä. Tavallisimmin teollisuusrobotit ovat kiertyvänivelisiä, jolloin robotin kaikki vapausasteet ovat kiertyviä. (Aalto et al. 1999, 14.)

Vapausasteiden määrä kannattaa valita robotin tehtävän mukaan. Esimerkiksi hitsausrobotille riittää viisi vapausastetta, koska hitsauslangan on tarpeetonta kiertää itsensä ympäri. Nykyään lähes kaikki kiertyväniveliset robotit ovat kuitenkin kuusi nivelisiä. Tällöin robotti voidaan varustaa useisiin tehtäviin. (Aalto et al. 1999, 14.)

Teollisuusrobotin mekaanista rakennetta, jossa tukivarret ovat kytketty peräkkäin, kutsutaan avoimeksi kinemaattiseksi rakenteeksi. Nykyiset teollisuusrobotit ovat lähes poikkeuksetta tällaisia. Peräkkäin kytketyissä rakenteissa työalue (ulottuvuus) on laaja, mutta kuormankantokyky pieni. Suljetussa kinemaattisessa rakenteessa tukivarret kytketään rinnakkain. Tällainen rinnakkaisrakenteinen robotti voidaan tehdä rakenteeltaan kevyemmäksi. (Aalto et al. 1999, 16.)

Kuuden vapausasteen robotit, joista vähintään kolme vapausastetta on kiertyviä, ovat monikäyttöisiä, koska työkalun saa mihin tahansa asentoon ja paikkaan työalueella. Kiertyvät vapausasteet ovat lähes aina robotin ranteessa. Nivelten mekaaniset liikealueet ja robotille sallittu työskentelyalue rajoittavat robotin paikkaa ja asentoa. (Aalto et al. 1999, 18.)

Nykyaikaisissa roboteissa energiansyöttö tapahtuu sähköisellä servomootorilla. Servotekniikan avulla kaikki vapausasteet voidaan helposti ohjata liikeratojen sisällä mielivaltaiseen paikkaan. Hydraulikalla ja pneumatiikalla toimivat robotit ovat myös varustettu jatkuvaohjautuvilla servopiireillä. Hydraulisia toimilaitteita käytetään siirrettäessä suuria kuormia ja pneumaattisia silloin, kun tarvitaan suuria lineaarinopeuksia. (Aalto et al. 1999, 19.)

3.3 Teollisuusrobotin koordinaatisto

Teollisuusrobotit käyttävät yleensä suorakulmaisia ortonormeerattuja oikeankätisiä koordinaatistoja. Standardi ISO 9787-1990 määrittelee kolme erilaista koordinaatistoa: (Aalto et al. 1999, 20.)

- maailmankoordinaatisto
- peruskoordinaatisto
- työkalukoordinaatisto.

Maailmankoordinaatisto on robotin ulkopuolinen koordinaatisto, joka on sidottu robotin työskentely-ympäristössä esimerkiksi rakennukseen, kuljettimeen tai robotin oheislaitteisiin. Peruskoordinaatisto on sidottu robotin jalustaan. ”Työkalukoordinaatisto on suorakulmainen koordinaatisto, joka sidotaan työkalumäärityksellä kiinni haluttuun kohtaan robotin työkalua lähtien työkalulaippaan sidotusta koordinaatistosta.” (Aalto et al. 1999, 21.) Tällöin robotin on mahdollista siirtää esimerkiksi hitsauksen valoakaan kohtaa suoraviivaisesti, esimerkiksi 10 mm:n päässä suuttimesta hitsauslankaa pitkin. Tämä kohta ja samalla työkalukoordinaatiston origo liikkuvat annetulla nopeudella. (Aalto et al. 1999, 20-21.)

3.4 Teollisuusrobotin ohjausjärjestelmä

Robotin ohjausjärjestelmä koostuu tavallisesti seuraavista komponenteista: (Aalto et al. 1999, 34)

- keskusyksikkö
- massamuisti ohjelmien tallennusta varten
- käsiohjain operointia ja ohjelmointia varten
- liitännät ulkoisille tietokoneille
- servotoimilaitteet nivelkohtaisesti
- teholähteet, jotka muuttavat sähkönsyötön järjestelmälle ja laitteille sopivaksi.

Ohjausjärjestelmän piirteitä ja toimintoja ovat ohjelmien tulkitseminen liikekäskyiksi, toimilaitteiden takaisinkytketty servo-ohjaus, toimintaympäristön seuraaminen antureiden avulla, muualla tehdyn ohjelman ymmärtäminen ja robotin sisäisen toiminnan tarkkaileminen eli itsediagnostiikka. Robotin ohjausjärjestelmän tehtävät voidaan jakaa viiteen ryhmään: (Aalto et al. 1999, 34-35)

- liikeohjaus
- ohjelmointi ja opetus
- ohjelmien toisto ja liikkeiden suoritus
- turvallisuustoimintojen toteuttaminen
- huoltotehtävät ja käyttöönotto.

Robotin liikeradat koostuvat peräkkäisistä liikekäskyistä. Liikekäsky on valmis, kun työkalu tai nivel saavuttaa riittävällä tarkkuudella liikekäskyssä määrätyn aseman. Tämän jälkeen robotti siirtyy toteuttamaan seuraavaa liikekäskyä. Työkalukoordinaatioon sidotut liikekäskyt mahdollistavat samanlaisten tehtävien toistamisen useissa eri kohdissa. (Aalto et al. 1999, 36.)

3.5 Robottien ohjelmointi

Robotin ohjausjärjestelmän tärkein tehtävä on ohjata robotin liikkeitä halutulla tavalla. Robottien ohjaustapoja on pääasiassa kolme: (Vaari 1988, 45.)

1. pisteohjaus
 - robotin työkalua ohjataan käsivarresta vetäen tai käyttäen käsiohjainta
2. rataohjaus
 - robotin työkalu siirtyy ennalta ohjelmoitua reittiä pitkin
3. rata- ja pisteohjaus
 - robotin työkalu liikkuu pisteiden välillä suoraviivaisilla tai kaarevilla liikkeillä

Robotti liikkuu sen muistiin tallennettujen avaruuspisteiden avulla pisteestä toiseen, samalla suorittaen sille koodein määrättyt toiminnot (työkäskyt, kysymykset, viiveet yms.). Pisteitä on oltava riittävän paljon, jotta robotti ei törmää esimerkiksi kiinnittimeen. (Vaari 1988, 45.)

3.5.1 Johdattamalla ohjelmointi

Johdattamalla ohjelmointi tarkoittaa työkalun liikuttamista halutulla radalla lihasvoimin. Liikeradat tallentuvat muistiin nivelten paikka-antureiden antamien lukemien perusteella. Tämä tekniikka oli yksi ensimmäisistä robottien ohjelmointimenetelmistä. Johdattamalla ohjelmoidessa ohjelma joudutaan usein tekemään uudestaan, jos toimintoja tarvitsee muuttaa. Ohjelmista on myös vaikea saada täysin tarkkoja. (Aalto et al. 1999, 79.)

3.5.2 Opettamalla ohjelmointi

Opettamalla ohjelmointi on perinteisesti toteutettu käsiohjaimella. Sen avulla robottiohjelma voidaan luoda kokonaisuudessaan käyttäen erilaisia hyppykäskyjä ja aliohjelmiä. Robotin liikuttaminen tapahtuu joko käsiohjaimesta tai erillisestä ohjaussauvasta. Käsiohjaimesta löytyy robotin käskykanta, joka muodostuu mm. erilaisista liikekäskyistä ja sovelluskohtaisista ohjauskäskyistä, kuten hitsauksen aloittamis- ja lopettamiskäskyt. Monet ohjelmointikielet mahdollistavat asemien ketjuttamisen. Tällöin sama tehtävä voidaan toteuttaa samalla ohjelmalla useissa eri kohdissa robotin työalueella. (Aalto et al. 1999, 79.)



KUVA 6. Motoman NX100 käsiohjain (Emerald Insight)

3.5.3 Mallipohjainen etäohjelmointi (off-line)

Aalto et al. (1999, 81) määrittelee mallipohjaisen etäohjelmoinnin seuraavasti:

Robottien mallipohjainen ohjelmointi (off-line) tarkoittaa robotin ohjelmointia ilman tuotantorobottia, tuotannon ulkopuolisessa tietokoneessa käyttäen 3D graafista käyttöliittymää ja robotin ja sen oheislaitteiden simulointimalleja sekä hyödyntäen valmistettavan tuotteen suunnittelun 3D-muototietoa.

Ohjelmointi tapahtuu käyttöliittymällä, jolla on rajapinta CAD-järjestelmiin. Tuotteen geometria siirretään yleensä DXF-formaatissa 3D-ohjelmaan, joka sisältää useita eri robottimerkkejä ja oheislaitteita. Robottien ja oheislaitteiden geometria, ohjaus-, liike- ja kinematiikkatiedot ovat tallennettuina ohjelman valmiskirjastoon. (Aalto et al. 1999, 83.)

Robottiohjelma perustuu paikoituspisteisiin, kuten opettamalla ohjelmoinnissakin. Varsinainen ohjelmointi tapahtuu kuitenkin vasta paikoituspisteiden valinnan jälkeen. Pis-

teiden luomisessa käytetään apuna tuotteen muototietoja. Niiden avulla paikoituspisteet voidaan generoida nopeasti. (Aalto et al. 1999, 83.)

Ohjelmointi voidaan toteuttaa ns. piirrepohjaisena. Ohjelmointijärjestelmässä on tallennettuina piirteitä ja niiden työstämiseen valmistusmenetelmiä. Ohjelma osaa valita oikeat parametrit, varmistaa oikean ohjelmasyntaksin ja valvoa, että työkalun asento pysyy rataan nähden vakiona. Ohjelmat sisältävät myös simulointisovelluksen, jolla pystytään tarkistamaan, että robotti pystyy toteuttamaan sille määrättyt tehtävät ja liikkeet. (Aalto et al. 1999, 84-85.)

3.6 Robottihitsaus

Arviolta 25 % kaikista teollisuusroboteista on hitsauskäytössä. Monet työpajat käyttävät hitsausrobotteja tuotteiden kokoonpanovaiheessa korvaamassa manuaalihitsaamisen. Tämä vähentää ihmisen tekemään työhön liittyvien puutteiden määrää. Automatisoinnin pitäisi laskea tuotteen valmistamisen kustannuksia, koska tuottavuutta ja laatua voidaan parantaa sekä manuaalista työntekoa vähentää. Robottien käyttämisestä hitsausprosesseissa kuitenkin koituu enemmän ongelmia ja haasteita verrattuna manuaalihitsaukseen. (Pires, Loureiro & Bölmsjö 2006, vii-x.)

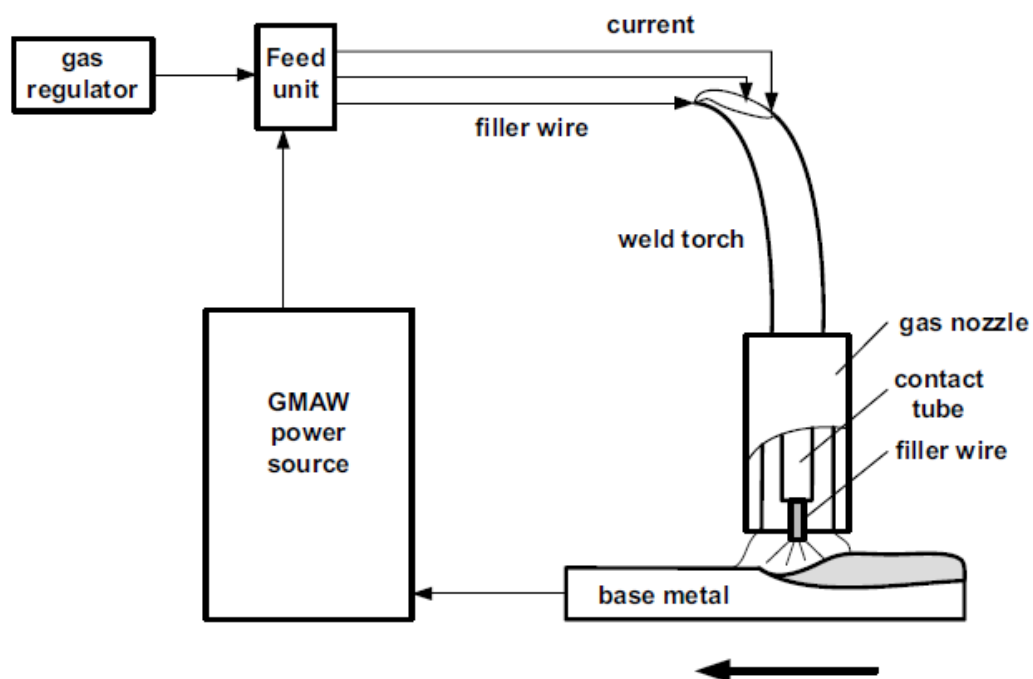
Robottihitsauksesta koituvia taloudellisia etuja teollisuudessa: (Pires 2006, 17.)

- robotit pystyvät suorittamaan tehtäviä pidempiä ajanjaksoja kerrallaan ihmisten kaltaisesti ja vähintään verrattavalla laadulla
- roboteilla aikaansaadaan paras valmistuskustannusten ja -volyymin suhde pienten ja keskisuurten yritysten tarpeisiin
- robotit ovat joustavia koneita, jotka pystytään ohjelmoida tekemään täysin toisistaan poikkeavia tehtäviä päivästä toiseen.

Autoteollisuus on yksi tärkeimmistä robottihitsauksen käyttäjistä, erityisesti pistehitsauksessa ja MIG/MAG-hitsauksessa. Ketteryytensä vuoksi robottihitsauksesta on tullut myös toteuttamiskelpoinen sovellus pienemmissä yrityksissä, jotka valmistavat piensarjatuotannolla asiakkailleen korkealaatuisia tuotteita. Vaikka erilaisiin tuoteratkaisuihin löytyy monenlaisia hitsausmenetelmiä, on kaarihitsaus yleisimmin käytetty, koska se sopii lähes kaikkiin sovelluksiin. (Pires 2006, 2-4.)

3.7 MIG/MAG-hitsaaminen

MIG/MAG-hitsaus eli metallikaasukaarihitsaus on kaasukaarihitsausprosessi, joka on useimmissa maissa yleisin hitsausprosessi käytetyn lisäaineen määrän perusteella. Hitsausprosessissa valokaari palaa hitsauskaasun ympäröimänä hitsauslangan ja työkappaleen välissä. Hitsauslangan päästä sula metalli siirtyy hitsisulaan pieninä pisaroina langansyöttölaitteen syöttäessä hitsauslankaa tasaisella nopeudella. MIG-hitsauksessa käytetään inerttiä kaasua, joka ei ota osaa hitsausprosessiin. MAG-hitsauksessa aktiivinen hitsauskaasu osallistuu hitsausprosessiin. (ESAB 2013.)

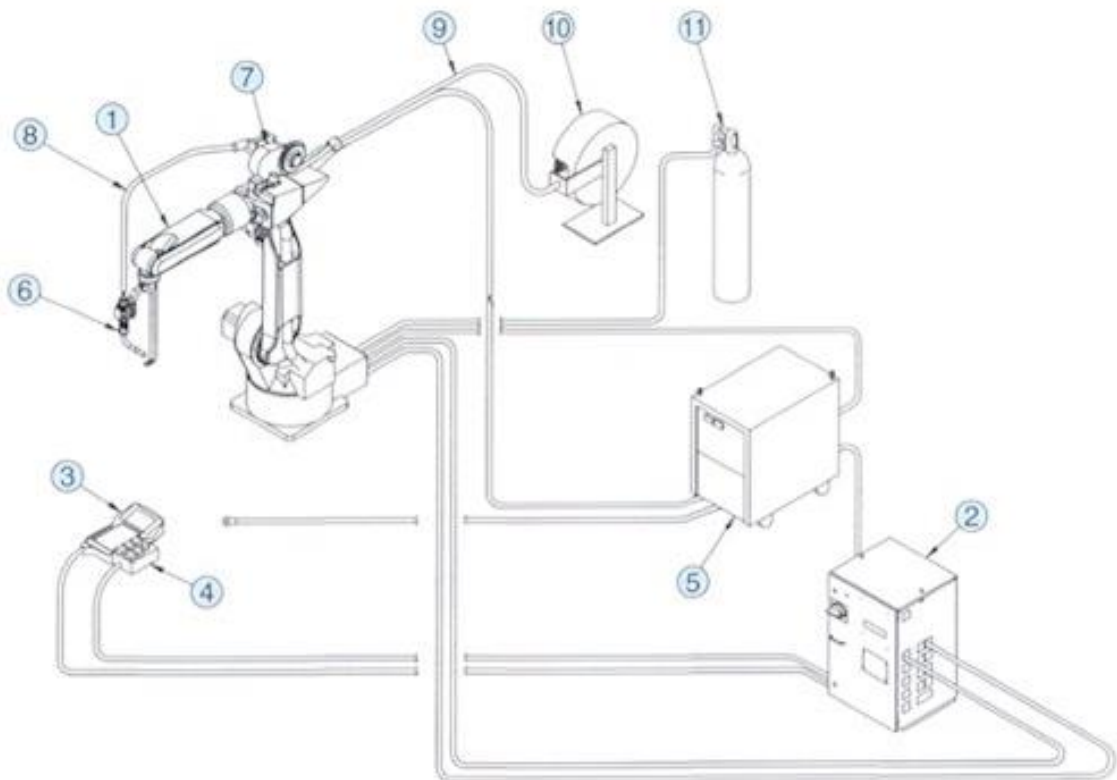


KUVA 7. metallikaasukaarihitsausprosessin kaavamainen kuvaus. (Pires 2006, 37)

Metallikaasukaarihitsausta käytetään teollisuudessa sen lukuisien hyötyjen vuoksi. Menetelmällä voidaan hitsata melkein kaikkia metalleja 1 mm:n vahvuudesta, jopa yli 30 mm:n vahvuuteen. Metallikaasukaarihitsaus on myös taloudellisempaa kuin esimerkiksi puikkohitsaaminen, koska sillä päästään isompaan hitsaus- ja sulansyöttönopeuteen, eikä se vaadi hitsauslangan jatkuvaa vaihtamista. Lisäksi hitsausjälkeä ei tarvitse juuri puhdistaa, koska kuonan syntyminen on hyvin vähäistä. (Pires 2006, 37.)

Kuvassa 8 esitellään robottihitsausjärjestelmän komponentteja. Kyseinen varustelu on metallikaasukaarihitsaukselle: (Finnrobotics)

1. robotti
2. ohjain
3. opetusyksikkö
4. toimintopainikkeet
5. hitsausvirtalähde
6. hitsauspoltin
7. langansyöttölaite
8. hitsauskaapeli
9. kaapeli
10. lankakelateline
11. kaasunsäädin.



Kuva 8. robottihitsausjärjestelmän komponentit metallikaasukaarihitsauksessa (Finnrobotics)

Hitsausparametrit vaikuttavat tapaan, jolla hitsauslangan kärki kulkee hitsattavassa kappaleessa. Parametrit määräävät valokaaren vakauden, roiskeiden määrän, hitsausnauman geometrian ja laadun. Tärkeimmät säädettävissä olevat parametrit robottihitsauksessa ovat: (Pires 2006, 41.)

- virta
- jännite
- etenemisnopeus
- langansyöttönopeus
- langan pituus (polttimen ja työkappaleen välissä)
- langan halkaisija.

Parametrit eivät ole toisistaan riippumattomia. Esimerkiksi virran ja jännitteen suuruuteen vaikuttaa valokaaren pituus. Jännite on myös riippuvainen hitsauskaasusta. (Pires 2006, 41.)

4 Modulaarisen hitsauskiinnittimen suunnittelun lähtökohdat ja vaatimukset

4.1 Lähtökohdat

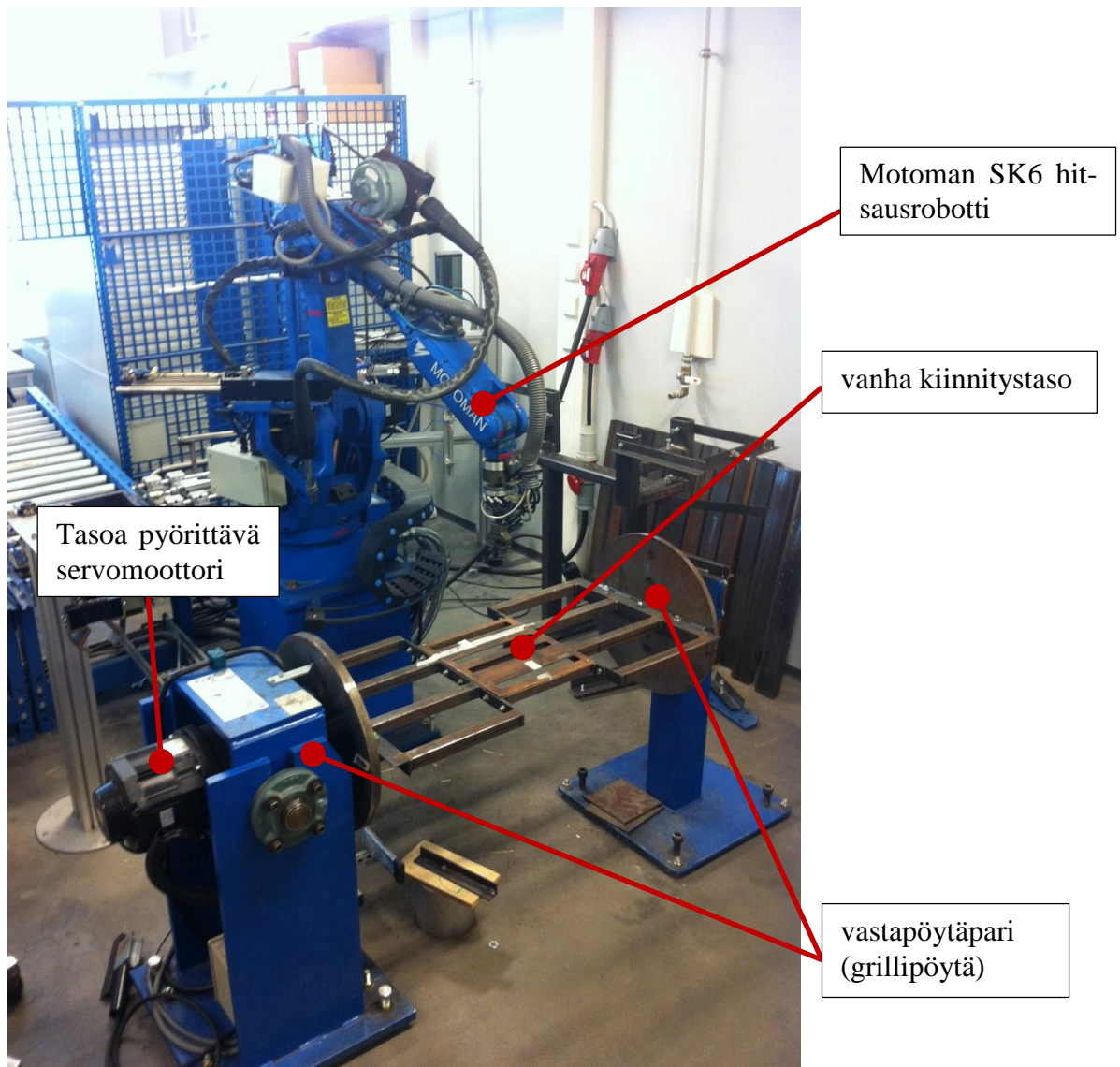
Tampereen ammattikorkeakoulun robottilaboratorion hitsaussolussa on käytössä MAG-hitsauslaitteella varustettu kuusiakselinen Motoman SK6 -robotti. Sen yhteydessä käytetään vastapöytäparityyppistä kappaleenkäsittelylaitetta eli grillipöytää, jonka käyttöpäätä pyörittää vaihtovirtakäyttöinen servomoottori.

TAULUKKO 1: robotin perustiedot

Valmistaja	Yaskawa Electric Corporation
Merkki	Motoman
Tyyppi	SK6
Massa	145 kg
Käsittelykyky	6 kg
Valmistusvuosi	1997

TAULUKKO 2: grillipöydän ja moottorin perustiedot

Paikoituslaite:	
Valmistaja	Yasakawa Electric Corporation
Malli	SB-250 SB
Maksimi kuorma	250 kg
Valmistusvuosi	1996
Moottorin tiedot:	
Valmistaja	Yasakawa Electric Corporation
Tyyppi	AC Servomoottori
Nimellisteho	1300 W
Momentti	6,18 Nm
Nimellispyörimisnopeus	2000 r/min



KUVA 9. TAMKin robottilabran hitsausrobotisolun kokoonpano

Kuvassa 9 on robottilaboratorion alkuperäinen kokoonpano. Vastapöytäparin välissä oleva pyöriteltävä kiinnitystaso oli huterä ja kappaleiden kiinnittämiseen vaadittiin usein itse rakennettuja kiinnityskomponentteja ja kiristysruuveja. Erilaisten kappaleiden kiinnittäminen oli työlästä ja paikoittaminen hankalaa varsinkin, kun kyseessä oli useamman samanlaisen kappaleen tuotantosarja. Näistä syistä TAMK halusi tilata opinnäytetyönä toteutetun suunnitelman uudesta kiinnitinjärjestelmästä.

4.2 Vaatimukset uudelle kiinnitinjärjestelmälle

Suunnittelun ensimmäisessä vaiheessa selvitettiin tilaajan vaatimukset uudelle järjestelmälle. Tämä toteutettiin haastatteleamalla tilaajaa ja kahta muuta hitsausrobotilla ope- roivaa henkilöä. Haastattelujen perusteella luotiin yhteistyönä listaus vaatimuksista, jotka tuli toteutua lopullisessa tuotteessa.

- modulaarisuus
- yhteensopivuus Demmelerin 16 mm järjestelmän kanssa
- yhteensopivuus alkuperäisen grillipöytäasetelman kanssa
- putkirakenne, jota voidaan jatkaa sivuille erillisillä siiveketasoilla
- putkirakenteen liikuttaminen lineaarijohteilla
- putkirakenteen paikoittaminen jousitapeilla
- materiaaliksi alumiini.

Lähtökohtana uudelle kiinnitinjärjestelmälle oli modulaarisen järjestelmän suunnittelu. Työn alkuvaiheessa tutkittiin saksalaisen Demmelerin valmistamia järjestelmiä, jotka koostuvat standardoiduista kiinnitin- ja paikoituskomponenteista sekä pöydästä, jossa on 50 mm:n välein halkaisijaltaan 16 tai 28 mm:n reikiä. Näihin reikiin pystytään kiin- nittämään erilaisia kiinnittimiä ja paikoituskomponentteja pikaliitännällä. Kokonaisrat- kaisut olivat hinnaltaan hyvin kalliita, joten sellaisen tilaaminen suoraan Demmeleriltä unohdettiin. Demmelerin katalogista saatiin kuitenkin hyviä ideoita työn toteutukselle.

Tilaaja päätti, että suunniteltavan järjestelmän tulee olla Demmelerin vakio-osien kanssa yhteensopiva. Koulun tarpeisiin riitti rakenteeltaan pienempi 16 mm järjestelmä. Siihen käyvät komponentit olivat myös huomattavasti 28 mm järjestelmää halvempia.

Uuden järjestelmän tuli myös olla yhteensopiva vanhan kokoonpanon kanssa. Grilli- pöydän laippojen väli on 1000 mm, joten uuden järjestelmän mitoitus tehtiin tämän mu- kaan. Tällä menettelyllä säästyttiin grillipöydän jalkojen siirtämiseltä ja pulttaamiselta uuteen positioon.

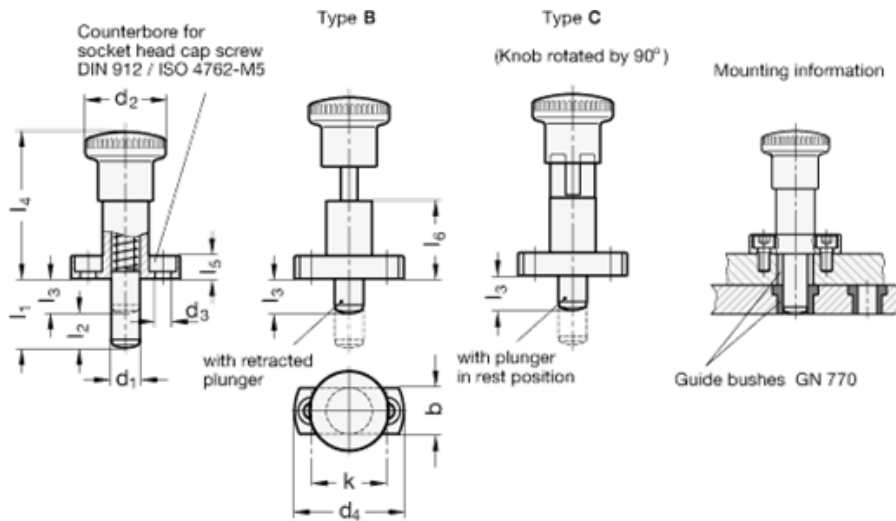
Ensimmäinen idea kiinnitintasolle oli 16 mm:n rei'illä varustettu suorakulmainen taso, joka kiinnitettäisiin alkuperäisen tason tavalla laippojen keskelle kuten kuvassa 9:n. Insinööri Tero Haapakosken (2014) mukaan kiinteästi grillipöydän laippojen keskiköön kiinnitettävä taso rajoittaa robotin ulottuvuutta. Tästä syystä päädyttiin suunnittelemaan

neliömallinen putkirakenne, jonka paikka grillipöydän laippojen välissä on operaattorin valittavissa. Hitsaustason liikuteltavuus päätettiin toteuttaa lineaarijohteella ja sovelukseksi valittiin kuvan 10 mukainen U-johde.



KUVA 10. havainnekuva U-johteesta, jonka sisällä on liikuteltava erikoislaakeri (Rollco)

Vaatimuksena oli myös, että putkirakenteen paikka voidaan helposti lukita laippojen väliin. Lukitseminen tuli mahdollistaa robotilla yksin operoivan henkilön voimin. Järkevimmäksi vaihtoehdoksi todettiin jousitapilla toimiva kiinnitys, joka lukitsee putkirakenteen tukevasti paikalleen. Jousitapiksi valittiin kuvan 11 mukainen C-malli, jossa jousitappi voidaan ylös vetäessä lukita auki-asentoon kääntämällä nuppia 90 astetta. Tällainen jousitappiratkaisu mahdollistaa kiinnityksen toteuttamisen yksin.



KUVA 11. havainnekuva kuva jousitappiratkaisusta (Otto Ganter)

Materiaalin valinta oli kriittinen, koska konstruktiolta vaadittiin keveyttä, työstettävyyttä, riittäviä mekaanisia ominaisuuksia ja hitsausroiskeiden tarttumattomuutta. Vaihtoehtoina olivat S355 rakenneteräs ja alumiini. Rakenneteräs konstruktiot ovat huomattavasti alumiinia raskaampi, mutta hitsauksesta aiheutuva lämpölaajeneminen on alumiinia huomattavasti pienempi. Tämä pystytään estämään sillä, että hitsaus ei tapahdu suoraan tason päällä. Kappale tulee kiinnittää siten, että sen hitsattavat kohdat ovat riittävän kaukana tason pinnasta, jolloin lämpöä ei johdu liiallisesti hitsaustasoon.

Laboratioinsinööri Juuso Huhtiniemen (2014) mukaan hitsausroiskeet tarttuvat teräkseen huomattavasti herkemmin kuin alumiiniin. Hitsausroiskeiden tarttuminen aiheuttaa pitkällä aikavälillä ongelmia, koska tason reikiin tarttuneet roiskeet haittaavat kiinnityskomponenttien liittämistä 16 mm:n reikiin. Toisaalta teräksen pintakarkaisulla voidaan vähentää hitsausroiskeiden tarttumista (Leino & Meuronen 1987, 72). Pintakarkaisu todettiin liian hankalaksi vaihtoehdoksi, koska pintakarkaisu aiheuttaa teräksessä muodonmuutoksia. Muodonmuutosten vuoksi kappaleet joudutaan karkaisun jälkeen koneistamaan uudestaan, jolloin alkuperäisiin mittoihin tulee heittoa. (Juuso Huhtiniemi 2014.) Näistä syistä materiaaliksi päätettiin valita alumiini.

4.3 Alumiiniseoksen valinta

Alumiiniseoksen valintaa tehdessä perehdyttiin suomalaisten alumiinia toimittavien yritysten tuotevalikoimaan. Erilaisia alumiiniseoksia, joita käsitellään SFS-standardissa SFS-EN-573, löytyi useita. Seoksen valinnassa täytyi huomioida sen soveltuminen las-
tuavaan työstöön. Suomalaisilta alumiinitoimittajilta löytyi neljää erilaista seosta, jotka soveltuvat hyvin koneistukseen:

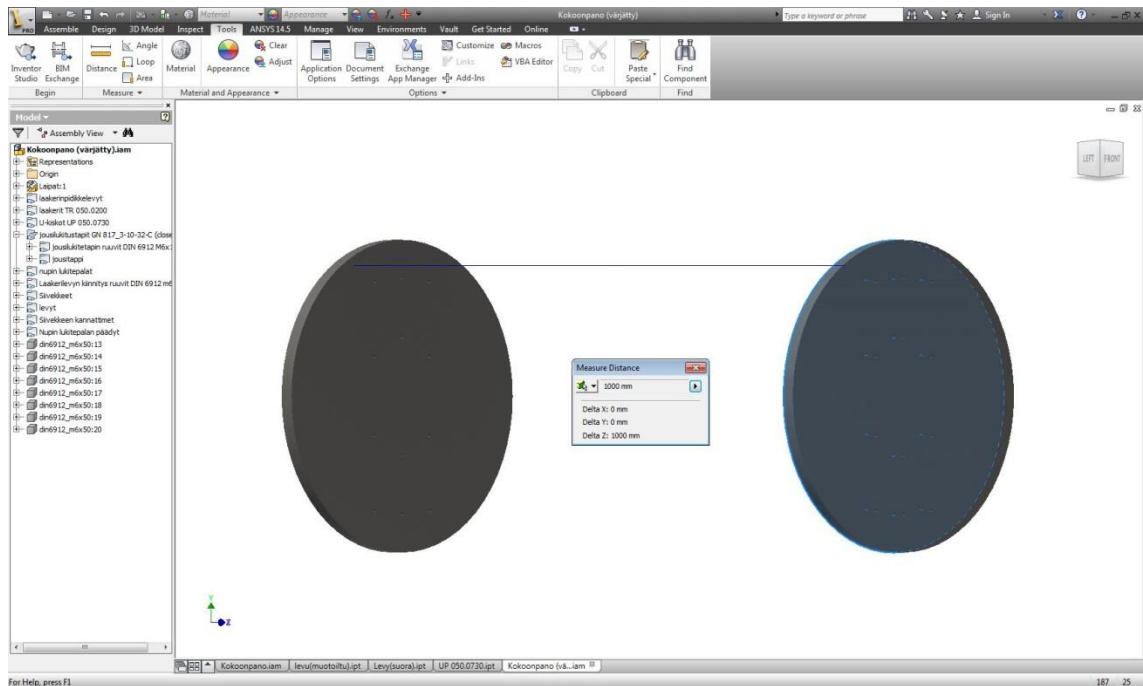
- EN-AW 5754
- EN-AW 5083
- EN-AW 6082
- EN-AW 7075

Seosta EN-AW 6082 (liite 11) löytyi lähes jokaiselta suomalaiselta alumiinitoimittajalta 2 mm:n paksuudesta 150 mm:n asti. Hyvän saatavuutensa ja useiden eri paksuus vaihto-
ehtojen vuoksi kyseistä seosta suositeltiin kiinnitysjärjestelmän valmistamista varten.

5 Mallintaminen

Hitsauskiinnitysjärjestelmän mallintamisessa käytettiin Autodesk Inventor 3D-CAD-ohjelmaa. Ohjelman avulla mallinnettiin tarvittavat kappaleet, kokoonpanototeutus sekä laadittiin valmistuksessa vaadittavat tekniset piirustukset. Ohjelman avulla pystyttiin myös simuloimaan kiinnittimen toimintaa ja esittämään erilaisia ratkaisumalleja tilaajalle. Ohjelmalla luoduista toteutuksista valittiin tilaajan mielestä paras ratkaisu, sekä kehitettiin tuotetta raakaversiosta lopulliseksi versioksi.

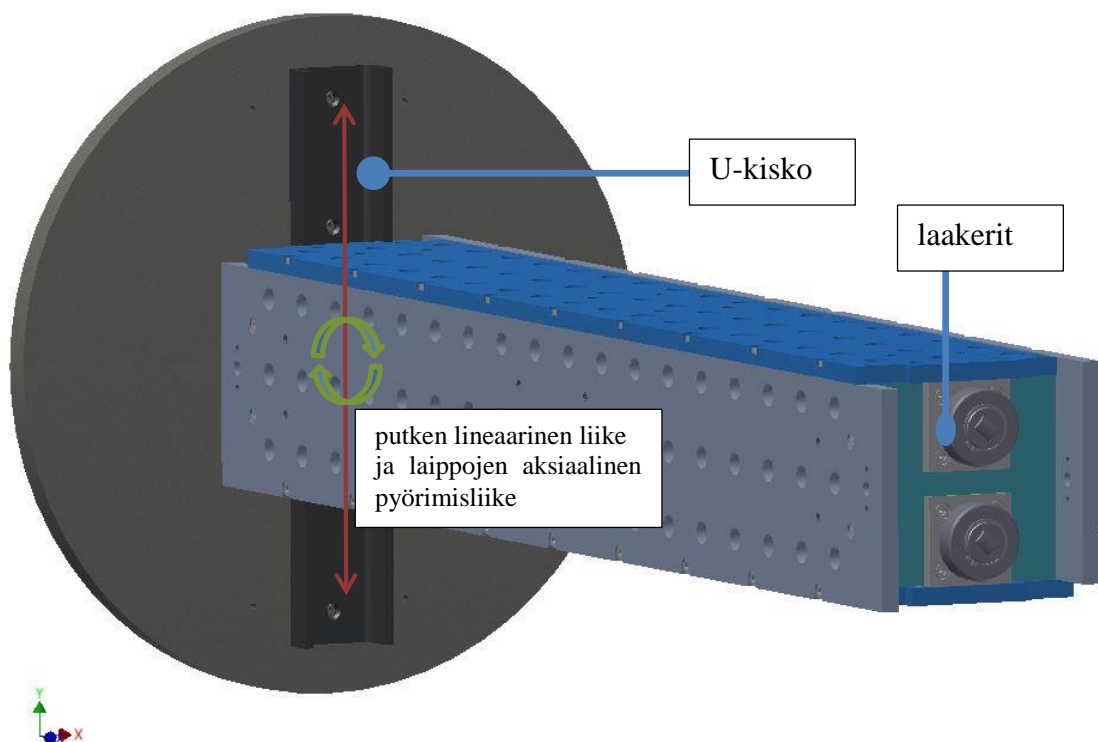
Mallintaminen aloitettiin tuomalla kokoonpanomalliin grillipöydän laipat, joiden väliin uusi kiinnitysjärjestelmä mitoitettiin. Laippojen 1000 mm väli oli ratkaiseva kiinnittimen osien mitoituksessa, kuten vaatimuksissa oli määritelty.



KUVA 12. laipat tuotuna Autodesk Inventorin kokoonpanotiedostoon.

Tämän jälkeen tehtiin erillinen kokoonpano kiinnittimen putkirakenteesta (liite 1). Tässä vaiheessa oli suunniteltava mitoitukset putkirakenteelle. Rakenne päätettiin toteuttaa kahdesta levyparista. Alumiinin hitsaaminen todettiin liian vaativaksi ja kalliiksi ratkaisuksi (Huhtiniemi 2014), joten levyjen kiinnittäminen toisiinsa toteutettiin M6-koon pulteilla.

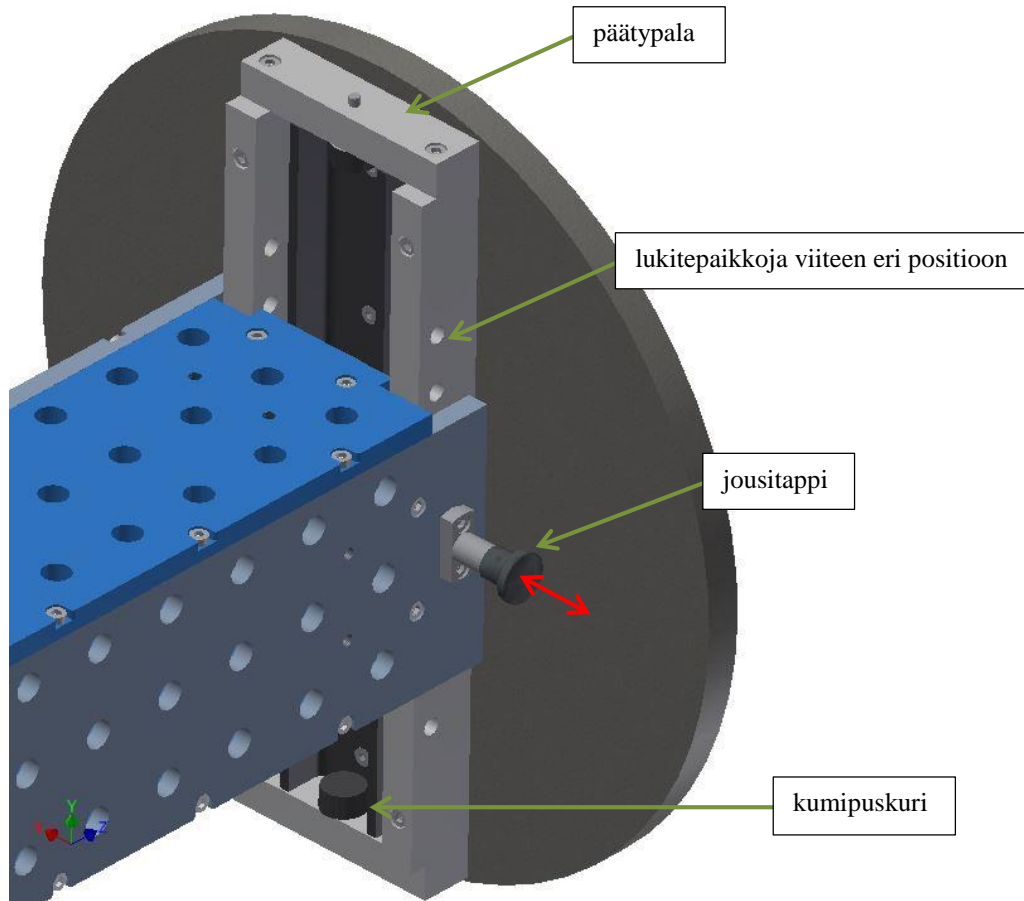
Neliömallisen putkirakenteen sisään suunniteltiin levyt (liite 4) putken molempiin päihin, joihin kiinnitettiin kuvan 10 mukaiset U-kiskolle sopivat erikoislaakerit. Linearijohderatkaisun toimittajaksi suositeltiin Rollco-nimistä yritystä (Haapakoski 2014), josta komponentit myös tilattiin. Molempiin päihin laitettiin kaksi laakeria, jotta rakenteesta saatiin riittävän tukeva. Asennustyön helpottamiseksi erikoislaakereiden päätyjen ja laippojen väliin jätettiin neljän millin vara, joka pystytään kompensoimaan laakerin kiinnityslevyn alle asennettavilla välilevyillä.



KUVA 13. havainnekuva putkirakenteesta laakereineen.

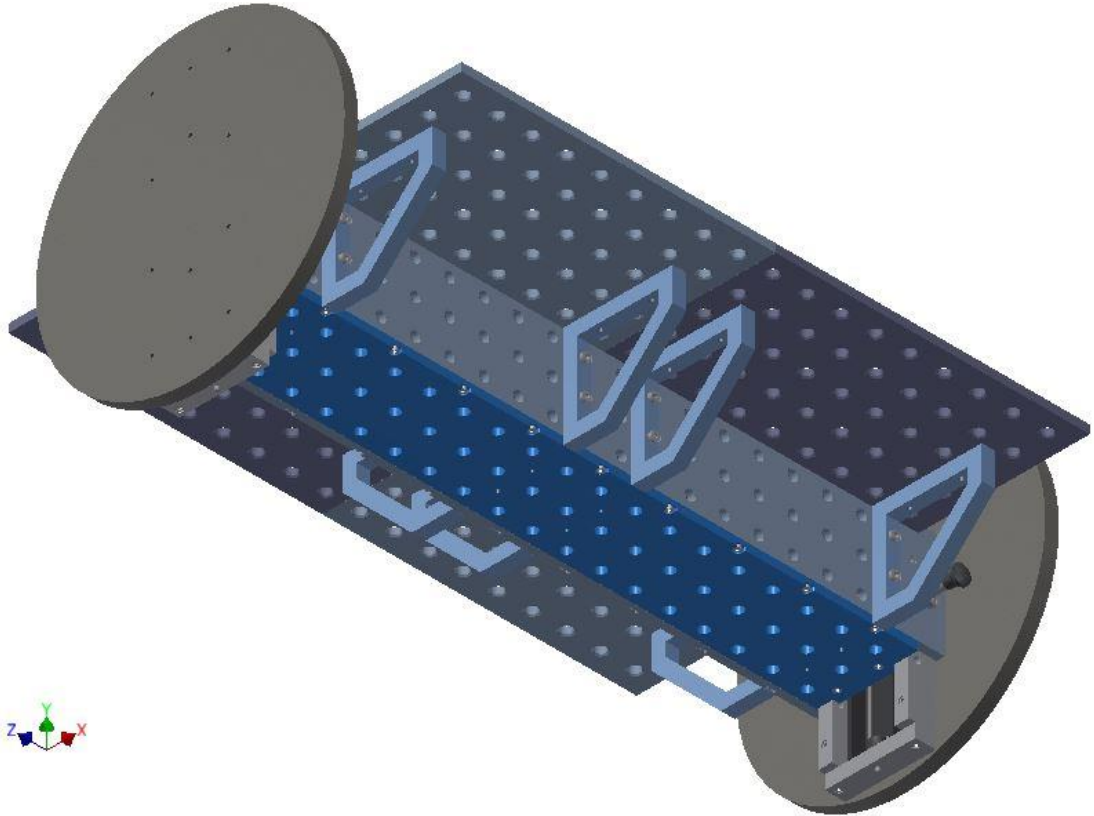
Vaatimuksen mukaan kiinnitystason paikan valinta oli pystyttävä toteuttamaan yhden henkilön voimin ja riittävän useaan positioon mahdollisuuksien mukaan. Rajoittavia tekijöitä olivat laipan halkaisija (450 mm) ja laakereiden ulkopinnan etäisyys U-kiskon päädyistä. Ratkaisuksi valittiin neljä kappaletta kuvan 11 mukaisia C-tyypin jousitappeja, jotka kiinnitettiin kahden vastakkaisen levyn molempiin pätyihin kummallekin puolelle. Jousitappien ja U-kiskon sivuille kiinnitettävien lukitustankojen (liite 5) avulla putkirakenne saadaan lukittua tukevasti paikalleen lukiterekien mahdollistamiin kohtiin, jotka on esitetty kuvassa 14. Kiinnitystason liikuttaminen tulisi toteuttaa aina vaa-

katasossa, jolloin rakenne ei pääse tippumaan. Lukitepalojen pätyihin päädyttiin suunnittelemaan päätypalat (liite 6), joihin ruuvataan Wempflerin valmistamat kumipuskurit. Näin laakerit eivät pääse vaurioitumaan, jos putkirakenne pääsee tippumaan.



KUVA 14. havainnekuva jousitappien toiminnasta

Kiinnitystason kokonaispituus jäi pelkällä putkirakenteella 160 mm:iin ja 16 mm reikien määrä pituussuunnassa kolmeen reikään. Kiinnitystasoa haluttiin jatkaa pituussuunnassa, jotta alustasta saadaan tukeva ja riittävän pitkä, kun hitsattavana on pituussuunnassa yli 160 mm:ä oleva kappale. Tilaaja halusi kiinnitinjärjestelmään käyttölevyden (915 mm) matkalle neljä erillisesti kiinnitettävää siivekettä (liitteet 8 ja 9), kaksi molemmille puolille. Putkirakenteen yläpinnan tasolle suunniteltiin 250 x 457,5 mm:n siivekkeet, joihin mahtui viisi 16 mm:n reikää pituussuunnassa molemmille puolille. Siivekkeiden kiinnittämiseen suunniteltiin kannakeosat (liite 10), joilla lisäsiivekkeet saadaan tukevasti paikallaan.



KUVA 15. konstruktio kokonaisuudessaan siivekkeiden kanssa.

5.1 Suunnittelutyössä esiintyneet haasteet

Suunnittelulle oli määrätty tarkat reunaehdot ja uuden kiinnitysjärjestelmän mitoitus tehtiin alkuperäisen tilanteen mukaiseksi. Tämä tarkoitti sitä, että rakenne ei voinut ylittää 1000 mm leveysuunnassa, eikä 450 mm pituus suunnassa (laippojen halkaisija). Kiinnityslevyjen 16 mm reikien etäisyys oli myös rajoitettu 50 mm:iin Demmelerin katalogin mukaisesti. Tästä syystä leveys- ja pituusmitoituksia oli helppoa käsitellä jo ideointivaiheessa.

Lopullisten mittojen aikaansaaminen vaati simulointia Autodesk Inventorin kokoonpanosovelluksessa. Haasteet mittojen ja muotojen kiinnilyömiseksi johtuivat pääasiassa toimintavarmuuden, asentamisen ja valmistettavuuden mahdollistamisesta. Osien keskinäiset välykset valittiin yhteistyössä tilaajan kanssa.

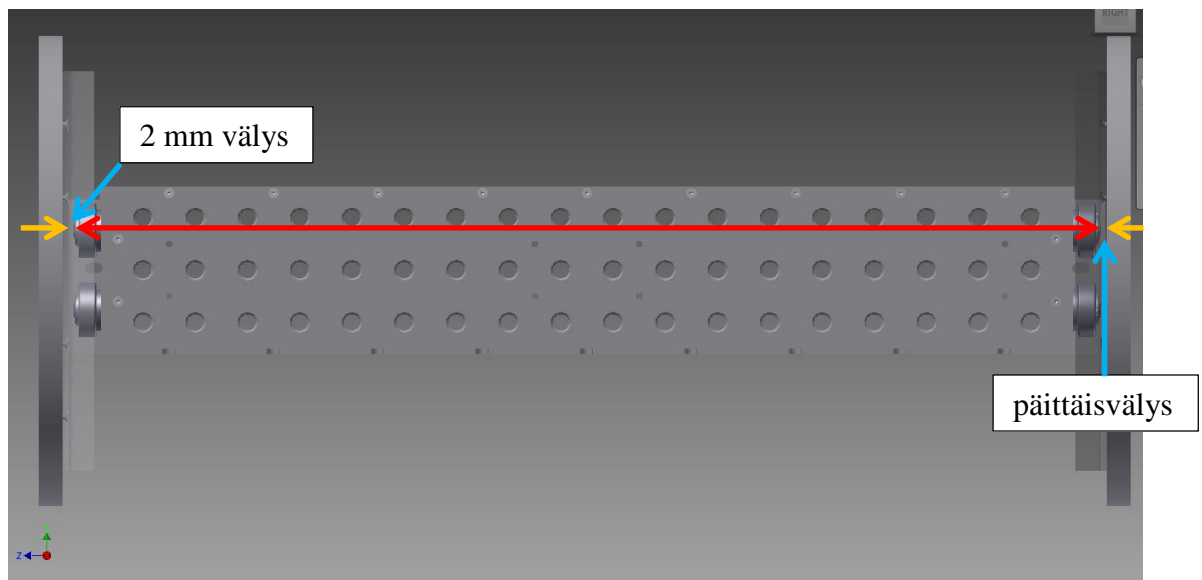
Suunnittelun ohessa tehtiin tuotekehittelyä uusien ideoiden ilmaantuessa. Osia ja kokoonpanoa muutettiin uusien kehitysideoiden myötä. Muutokset olivat kuitenkin koh-

tuullisen vähäisiä, mutta vaativat ajatustyötä, jotta kaikki komponentit saatiin keskenään yhteensopiviksi.

5.2 Kiinnitysjärjestelmän asennukseen ja käyttöönottoon liittyvät haasteet

Projektin haastavimmaksi tehtäväksi todettiin järjestelmän asentamisen mahdollistaminen. Alusta asti oli selvää, että kiinnitysjärjestelmän asentaminen vaatii tarkkaa pohdintaa osien mitoitus- ja teknisten ratkaisujen suhteen. Rakenteesta oli suunniteltava riittävän jäykkä, jotta lineaarinen liike laippojen välissä olisi mahdollista. Iso päittäisväly ohjaisi rakenteen vinoon, jolloin se jumittuisi. Tästä syystä kokonaisväly piti saada alle yhden millin.

Laakereiden etäisyys toisistaan valittiin niin, että laakereiden päätyrullien ja U-kiskojen pintojen väliin jätettiin 2 mm:n rako molemmille puolille. Tätä välystä säädetään laakereiden alle asennettavilla 0,5 ja 1 mm:n välilevyillä, joilla päittäisväly pystytään järjestelmää asentaessa kompensoimaan.

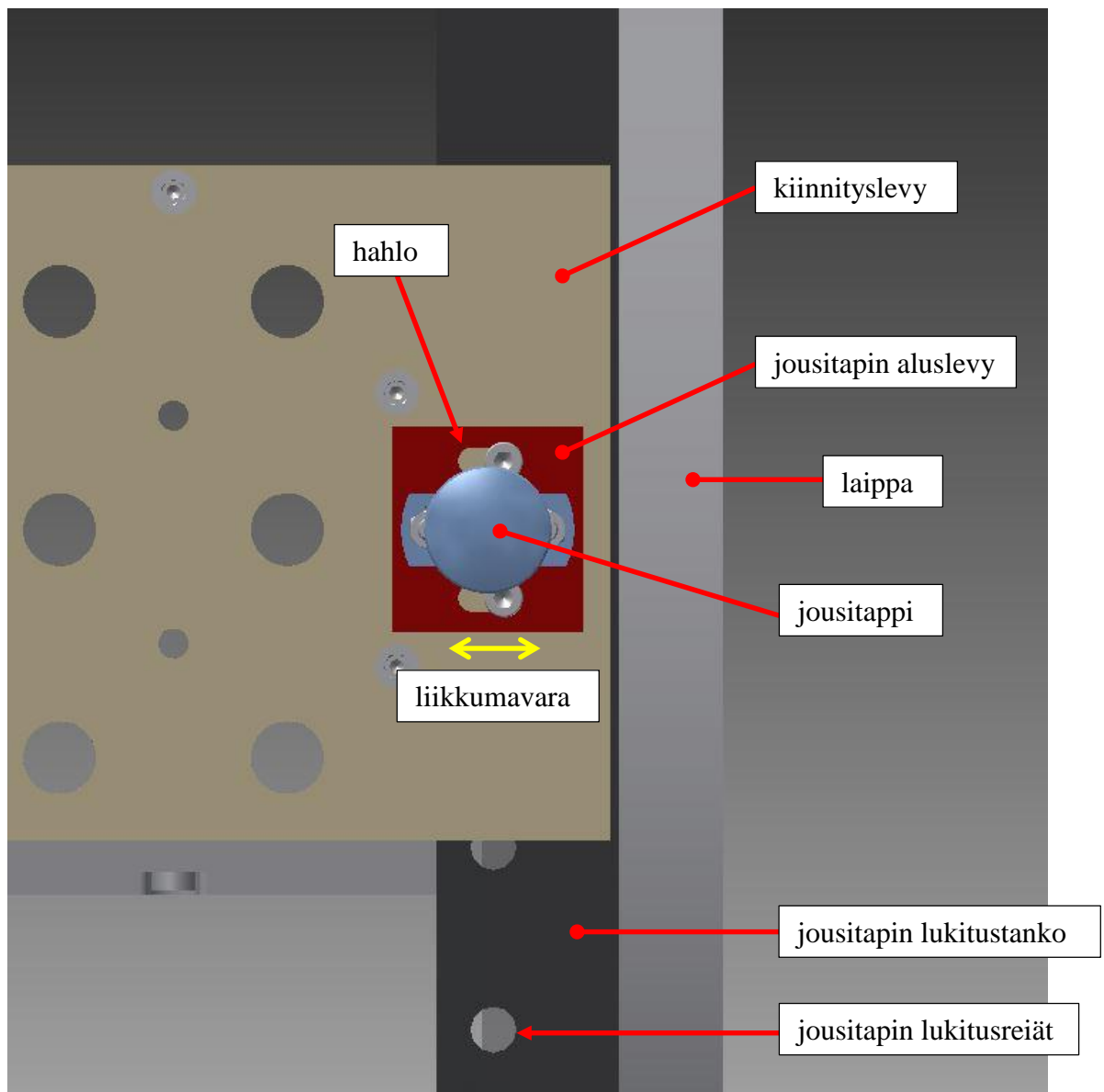


KUVA 16. havainnekuva päittäisvälyksestä

Tämän jälkeen todettiin, että jousitapeilla toteutettava lukitus ei tulisi onnistumaan alkuperäisen suunnitelman mukaan, kuten kuvassa 14 on esitetty. Ensimmäisessä suunnitelmassa jousitapin lukitustanko sekä jousitappi olivat kiinnitetty pultiliitoksilla määrät-

tyihin paikkoihinsa, eikä niiden liikuttaminen toisiinsa nähden ollut järkevästi toteutettavissa. Päätöksivällystä olisi ollut käytännössä mahdotonta ohjata niin, että kaikki jousitapit ja jousitapin lukitusreiät olisi saatu kohdakkain.

Jousitapin alle jouduttiin suunnittelemaan liitteen 7 mukainen aluslevy, johon jousitappi kiinnitettiin uppokantaruuveilla alapuolelta. Aluslevyyn ja kiinnityslevyyn tehtiin hahlot, joilla saatiin 7 mm:n liikkumavara jousitapeille. Liikkumavaraa hyödyntäen jousitapit pystytään asentaessa keskittämään jousitappien lukitusreikien kanssa.



KUVA 17. jousitapin paikan säätämisen mahdollistaminen

6 Yhteenveto

Tämän opinnäytetyön tehtävänä oli löytää ja suunnitella optimaalinen kiinnitinjärjestelmä TAMKIn tarpeisiin. Alusta lähtien oli selvää, että järjestelmästä on suunniteltava modulaarinen. Tällaisella ratkaisulla koulun hitsausrobottia käyttävä opiskelija tai koulun työntekijä pystyisi helposti rakentamaan oikeanlaisen hitsauskiinnittimen omiin tarpeisiinsa. Periaatteena oli vakio-osiin perustuva järjestelmä, josta löytyy erilaisia helposti käytettäviä komponentteja hitsattavan kappaleen kiinnittämiseen ja paikoittaiseen.

Hitsauskiinnitysjärjestelmiä valmistavien yritysten tuotekatalogeja sekä kirjallisuutta hitsauskiinnittimien suunnittelusta käytettiin apuna kiinnitinratkaisun löytämiseen. Teollisuusrobotteihin liittyvän teorian avulla tutkittiin robottien toimintaperiaatteita. Tämän tutkimuksen avulla pyrittiin löytämään mahdollisuudet ja rajoitteet kiinnitinjärjestelmän toteuttamiselle.

Suunnittelua tehtiin yhteistyössä koulun henkilökunnan ja erityisesti työn tilaajan kanssa. Yhteistyöllä oli suuri merkitys työn etenemiselle oikeaan suuntaan ja saatu apu helpotti työntekoa huomattavasti. Suunnitteluun annetut reunaehdot olivat riittäviä, mutta eivät liian rajoittavia. Tilaajan ammattitaidon ja kokemuksen avulla kappaleiden valmistus- ja asennustekniset mahdollisuudet ja rajoitukset sekä lujuusopilliset asiat saatiin ratkaistuksi. Tästä syystä suunnittelua oli mielekästä tehdä.

Tuotekehittelyä tehtiin pääasiassa Autodesk Inventorin kokoonpanosovelluksen avulla. Erilaisia kiinnitinjärjestelmän versioita ja niiden toimivuutta oli helppo simuloida ja esittää tilaajalle kokoonpanosovelluksessa. Kiinnitinjärjestelmän kolmiulotteisen kokoonpanomallinuksen perusteella kaikki mitoitus- ja liitokset toimivat odotetulla tavalla.

Aikaansaatu suunnitelma todettiin tilaajan kanssa toimivaksi ja mahdolliseksi valmistaa. Valmis työ luovutettiin tilaajalle valmistuspiirustuksineen. Osien tilaaminen, valmistaminen ja asentaminen jäivät tilaajan tehtäväksi.

LÄHTEET

Aalto, H., Heila J., Hirvelä, T., Kuivanen, R., Lahtinen, H., Lempiäinen, J., Lylynoja, A., Renfors, J., Selin, K., Siintoharju, T., Temmes, J., Tuovila, T., Veikkolainen, M., Vihinen, J. & Virtanen, A. 1999. Robotiikka. Vantaa. Talentum Oyj / Metallitekniikka.

Demmeler. 3D-Clamping Systems -esite 2013. Luettu 29.3.2014.

http://www.demmeler.com/images/pdf/broschueren/3DSpannsysteme/Gesamtprospekt_2013_en.pdf

Emerald Insight. Kuvakaappaus Motoman käsiohjaimesta. Katsottu 03.04.2014.

http://www.emeraldinsight.com/content_images/fig/0490360501005.png

ESAB 2013. Hitsaustietoa. MIG/MAG-hitsaaminen. Luettu 1.4.2014.

<http://esab.fi/fi/fi/education/processes-mig-gmaw.cfm>

Finnrobotics. Hitsaus. Luettu 1.4.2014. <http://www.finnrobotics.fi/?sivu=hitsaus>

Haapakoski T. Insinööri. Kommentteja kiinnittimen suunnitteluun. Haastattelu. Haastateltu 28.03.2014.

Hoffman, G. E. (Ed.). (2004). Jig and fixture design (5.th ed.). Clifton Park, NY 12065 USA: Delmar.

Huhtiniemi J. Laboratorioinsinööri. Kommentteja kiinnittimen suunnitteluun. Haastattelu. Haastateltu 15.04.2014.

Leino, K. & Meuronen, I. 1987. Hitsauskiinnittimen suunnittelu. Tekninen tiedotus 15/87. Helsinki. Metalliteollisuuden Kustannus Oy.

Motoman. Tuotteet. HP20D-6. Luettu 29.3.2014.

http://www.motoman.fi/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&file=uploads/tx_catalogrobot/Flyer_Robot_HP20D-6_E_11.2012_03.pdf&t=1396432055&hash=27cf4b5a4f04846c051cb6200a0c1b2e84648b71

Otto Ganter. Indexing plungers. Luettu 23.4.2014. <http://www.ganter-griff.com/?cmd=normblatt&guid=6e7d01ed-7e5b-406b-9feb-3435218699b3&LCID=2057&pageID=35>.

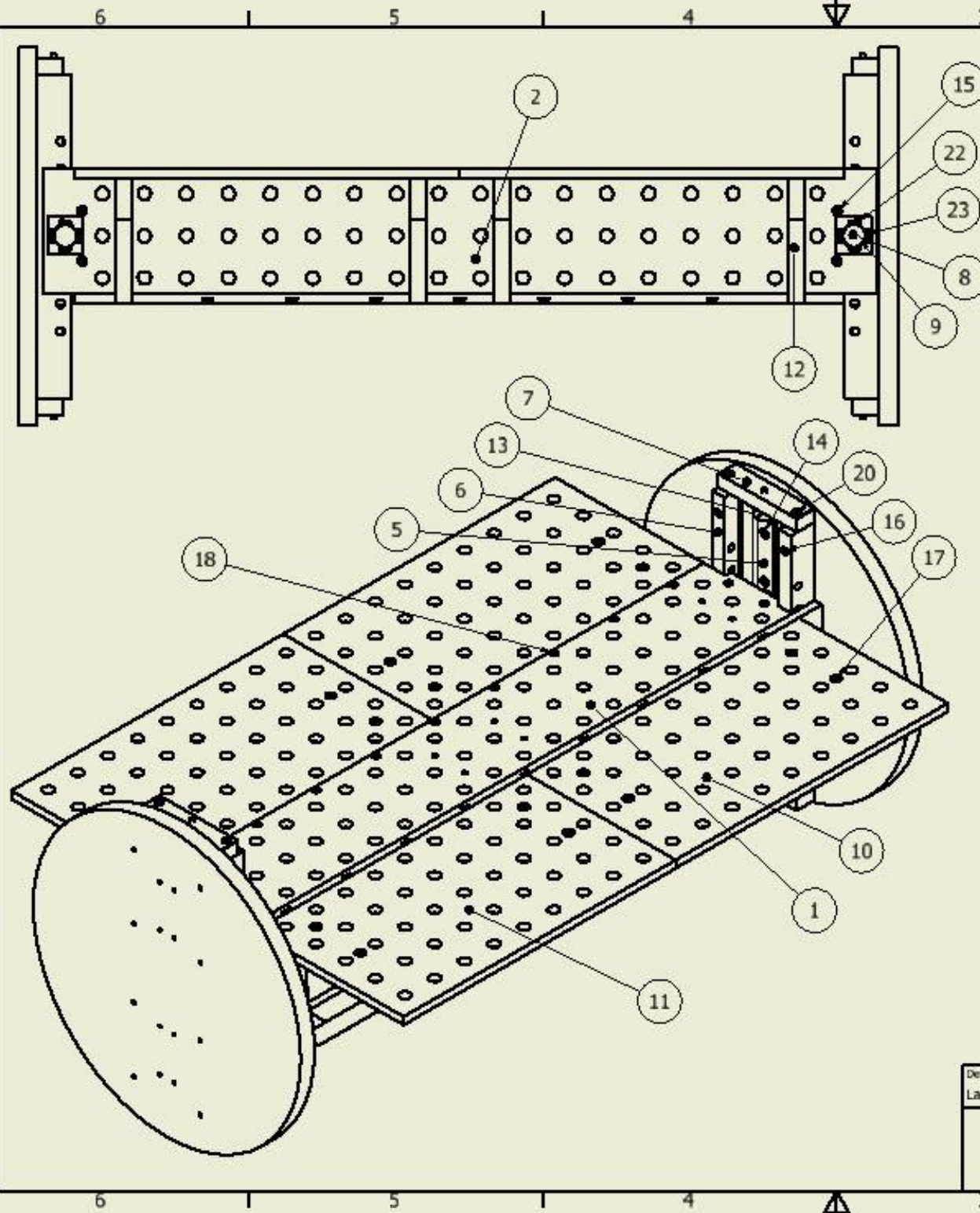
Pires, J.N. & Loureiro, A. & Bolmsjö, G. 2006. Welding Robots: Technology, System Issues And Application. Springer.

Rollco. U-kisko. Luettu 23.4.2014. <http://rollco.fi/tuotteet/u-johde/>

Ruukki. EN-AW-6082. Luettu 30.04.2014. <http://www.ruukki.fi/Tuotteet-jaratkaisut/Ruostumaton-teras-ja-alumiini/Alumiinilevyt-ja-kelat/Alumiini-EN-AW-6082>

Vaari, A. 1988. Automaatiotekniikka. Porvoo, Helsinki, Juva. Werner Söderström Oy.

Liite 1. Kokoonpanokuva ja osaluettelo

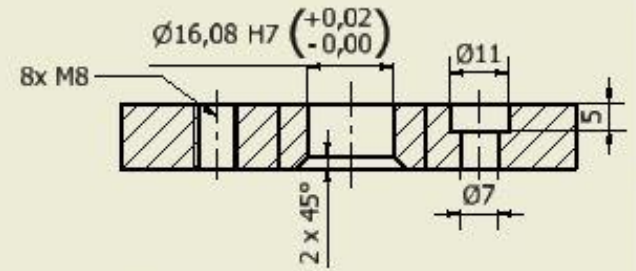


23	8	Mutteri	DIN934 M5
22	8	Kuusiokoloruuvi	DIN6912 M5x16
21	8	Kuusiokoloruuvi, uppokanta	DIN7991 M5x16
20	8	Kuusiokoloruuvi	DIN6912 M6x30
19	16	Kuusiokoloruuvi	DIN6912 M8x30
18	36	Kuusiokoloruuvi	DIN6912 M6x25
17	16	Kuusiokoloruuvi	DIN6912 M8x25
16	12	Kuusiokoloruuvi	DIN6912 M6x50
15	32	Kuusiokoloruuvi	DIN6912 M6x16
14	16	Kuusiokoloruuvi, uppokanta	DIN7991 M5x20
13	4	Kumipuskuri	RUBBER BUFFER 25X12,5 NR 71 SHORE A
12	8	Siivekkeen kannike	EN AW 6082
11	2	Siivekelevy vasen	EN AW 6082 457,5x250x12
10	2	Siivekelevy oikea	EN AW 6082 457,5x250x12
9	4	Jousitapin aluslevy	45x42x6
8	4	Jousitappi	GN 817.3-10-32-C
7	4	Jousitapin lukitustangon päätypala	EN AW 6082 132x30x20
6	4	Jousitapin lukitustanko	EN AW 6082 385x40x20
5.2	1	U-Kisko vapaapää	UP 050.0730 383x65x6
5.1	1	U-Kisko käyttöpää	UP 050.0730 383x65x6
4	4	Laakeri ja laippa	TR 050.200 BQ 1000
3	2	Laakereiden kiinnityslevy	EN AW 6082 136x136x12
2	2	levy 2	EN AW 6082 992x148x12
1	2	levy 1	EN AW 6082 934x148x12
Osa	Kpl	Nimitys	Aine, mitat, muoto, malli

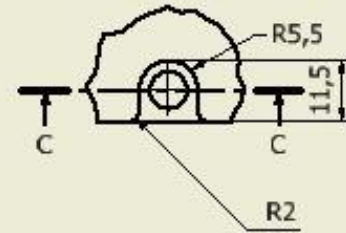
Designed by Lauri Taipale	Checked by	Approved by	Date 29.04.2014
TAMK		Modulaarisen kiinnitysjärjestelmän kokoonpano	
		Edit on 1:5	Sheet 1/1

Liite 2. Levy 1 valmistuskuva

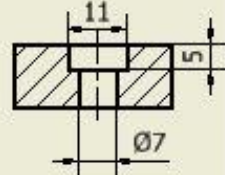
A-A (1:1)



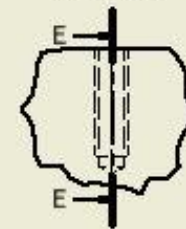
B (1:1)



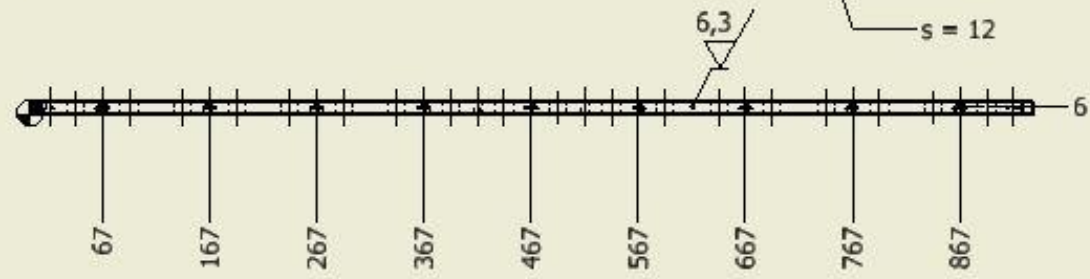
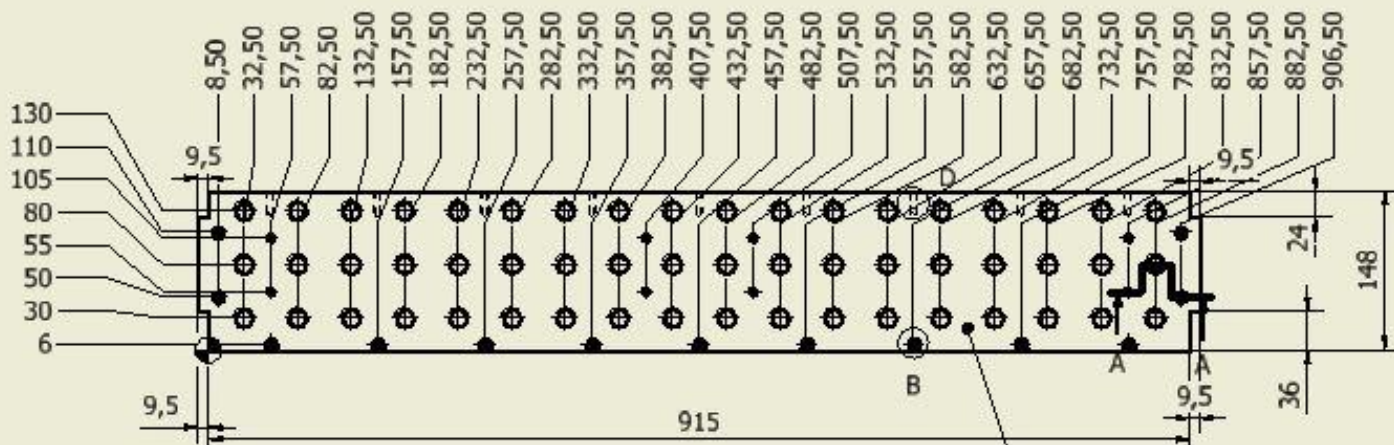
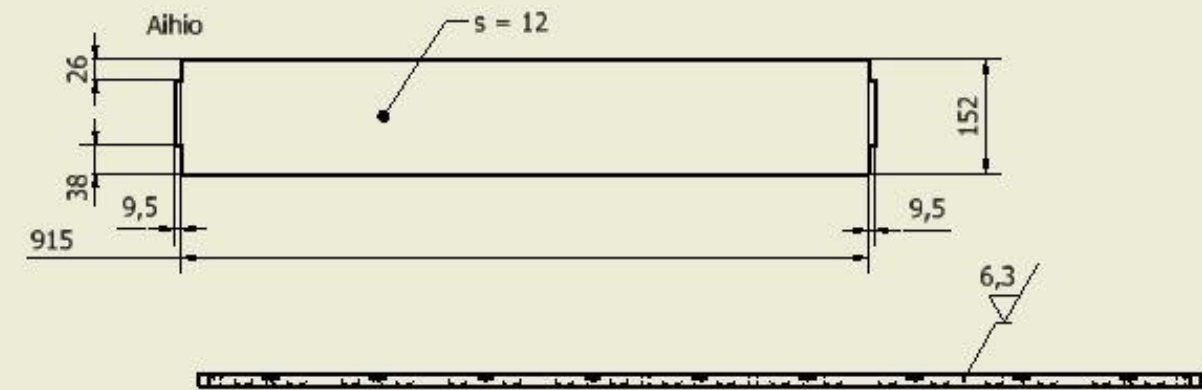
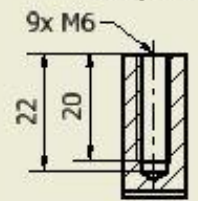
C-C (1:1)



D (1:1)

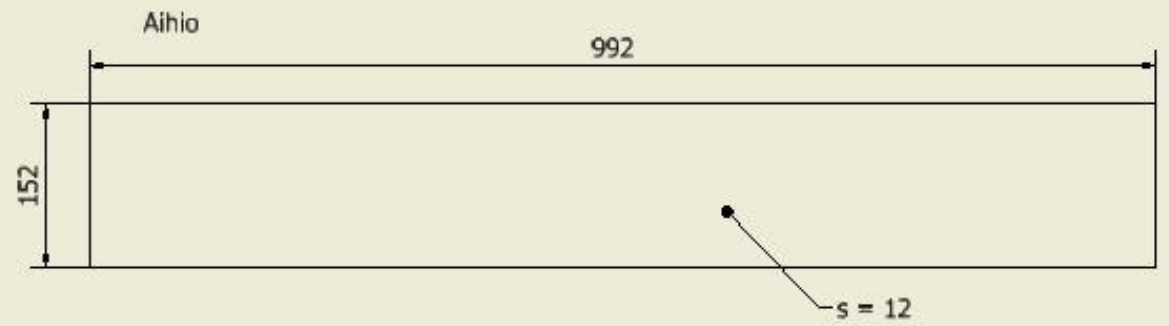


E-E (1:1)

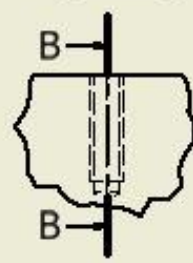


Designed by Lauri Taipale	Checked by	Approved by	Date	Date 28.4.2014	
TAMK			Levy 1		
			1	Eds on 1:5	Sheet 1 / 1

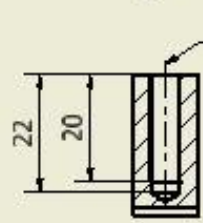
Liite 3. Levy 2 valmistuskuva



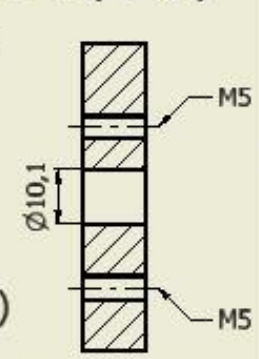
A (1:1)



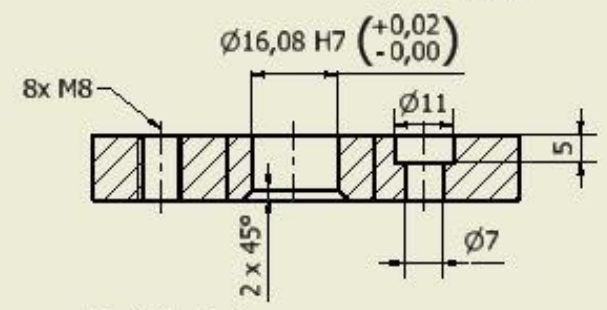
B-B (1:1)



D-D (1:1)

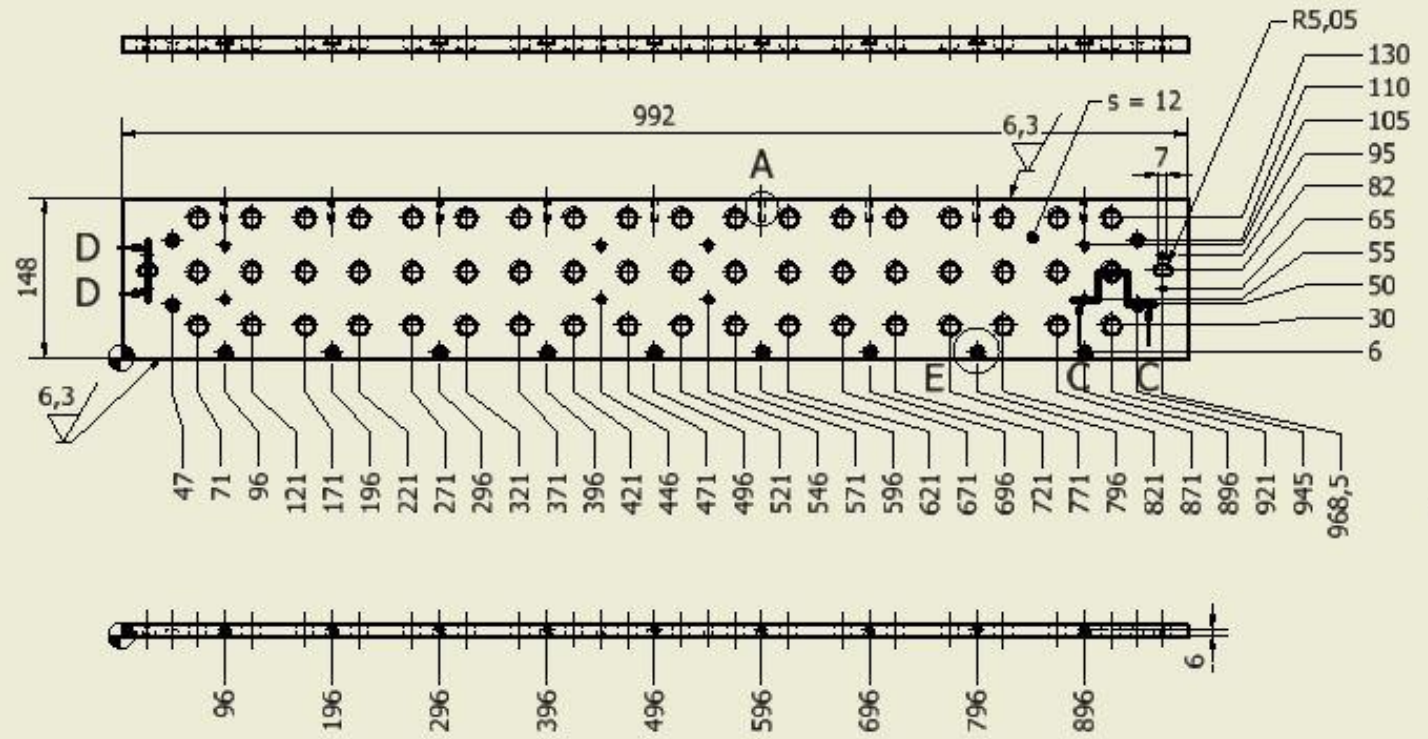
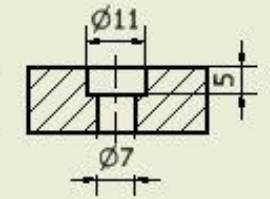
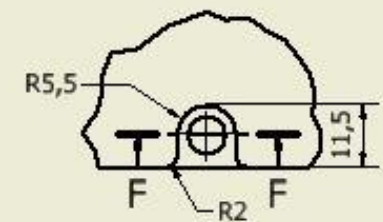


C-C (1:1)

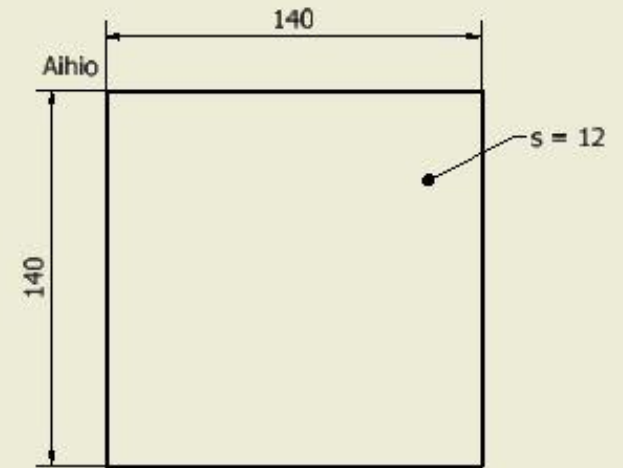
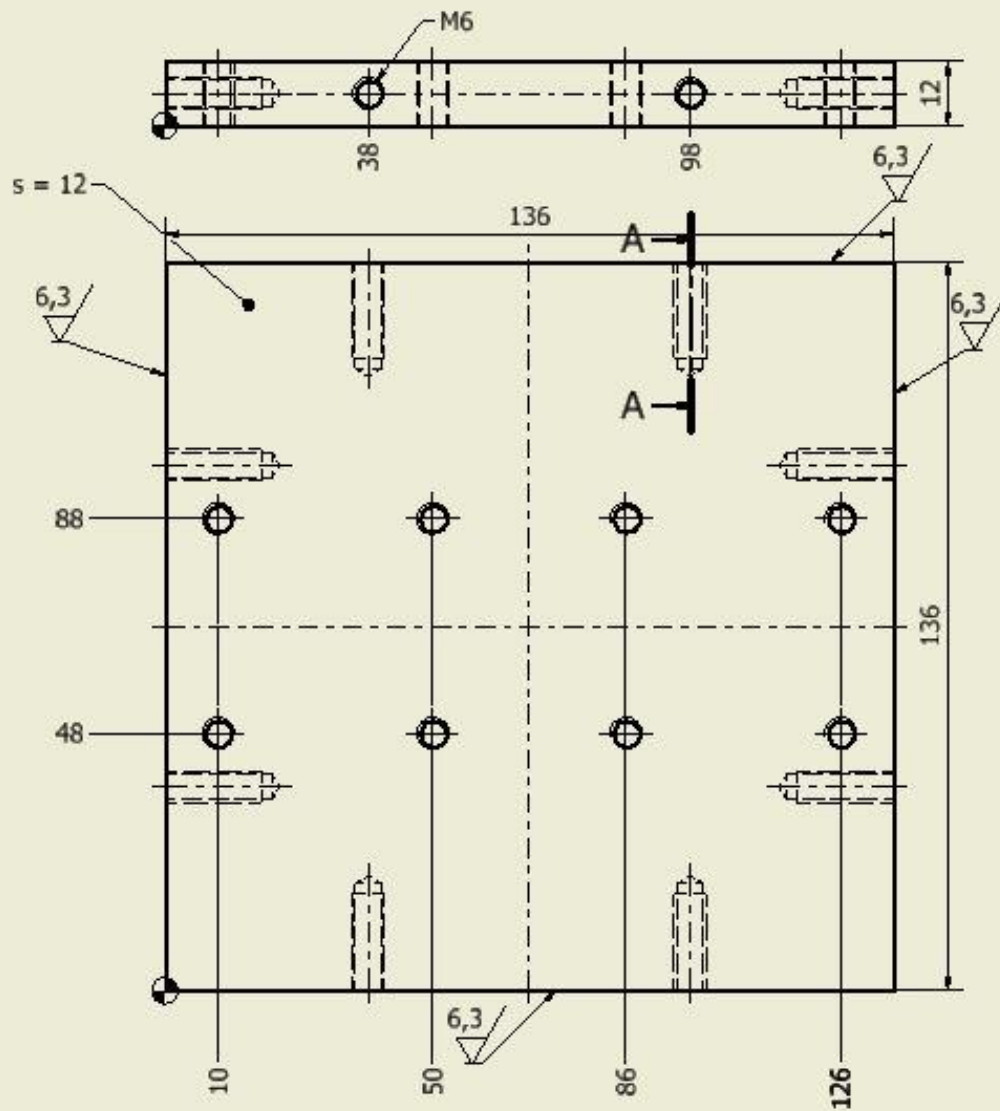


E (1:1)

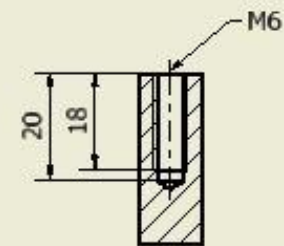
F-F (1:1)



Designed by Lauri Taipale	Checked by	Approved by	Date	Date 28.4.2014
TAMK			Levy 2	
			2	tdit on 1:5

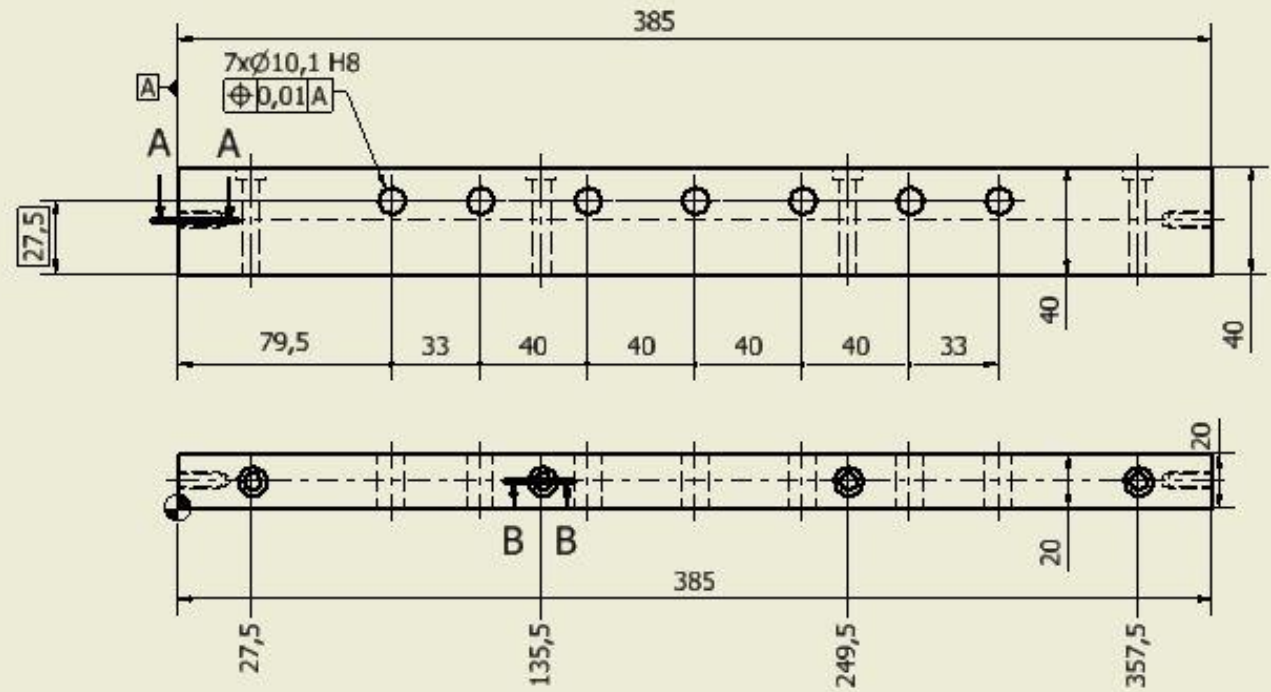


A-A (1:1)

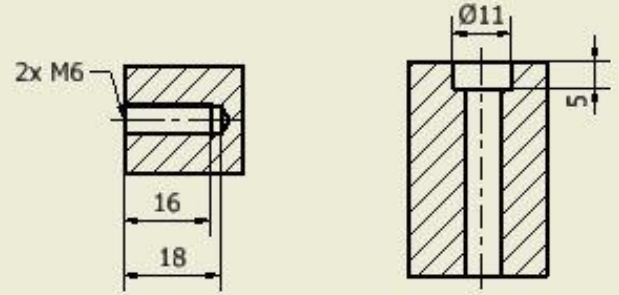


Designed by Lauri Taipale	Checked by	Approved by	Date	Date 28.4.2014	
TAMK			Laakereiden kiinnityslevy		
			3	1:1	Sheet 1 / 1

Liite 5. Jousitapin lukitustangon valmistuskuva

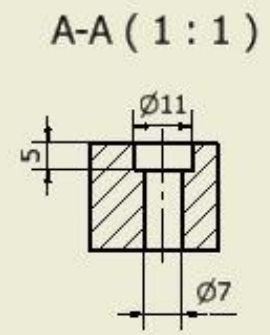
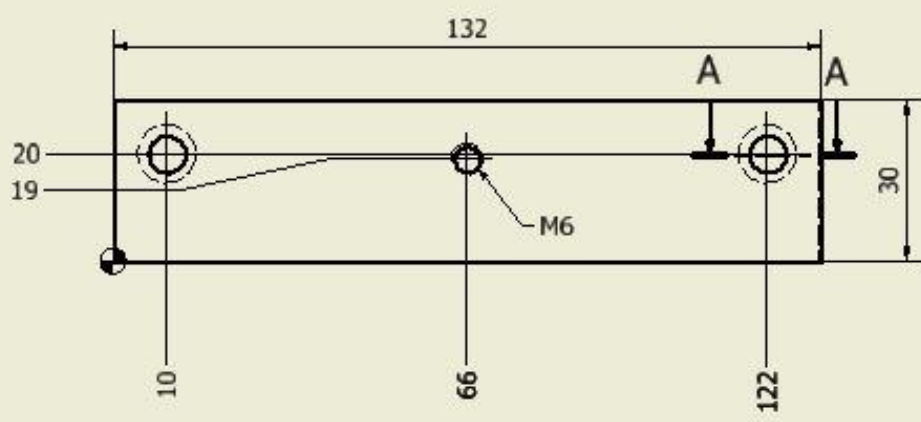
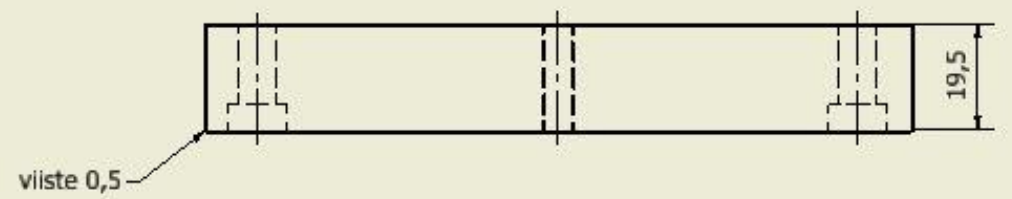


A-A (1 : 1) B-B (1 : 1)



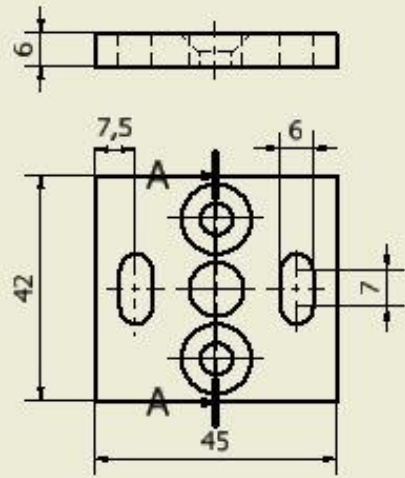
Designed by Lauri Taipale	Checked by	Approved by	Date	Date 28.4.2014
TAMK			Jousitapan lukitustanko	
			6	Sheet 1 / 1

Liite 6. Jousitapin lukitustangon päätypalan valmistuskuva

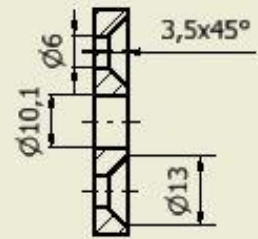


Designed by Lauri Taipale	Checked by	Approved by	Date	Date 28.4.2014	
TAMK			Jousitapin lukitetangon päätypala		
			7	Ed on 1:1	Sheet 1 / 1

Liite 7. Jousitapin aluslevyn valmistuskuva

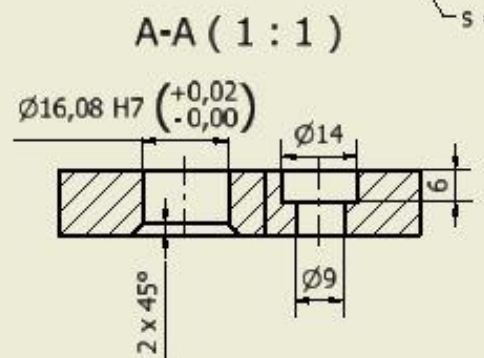
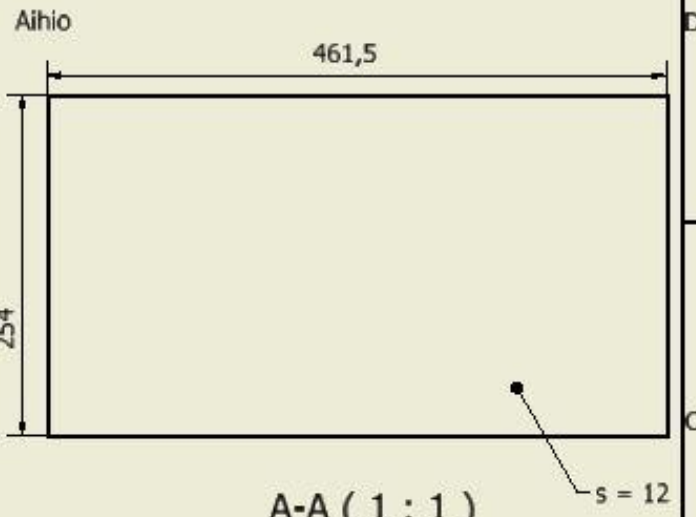
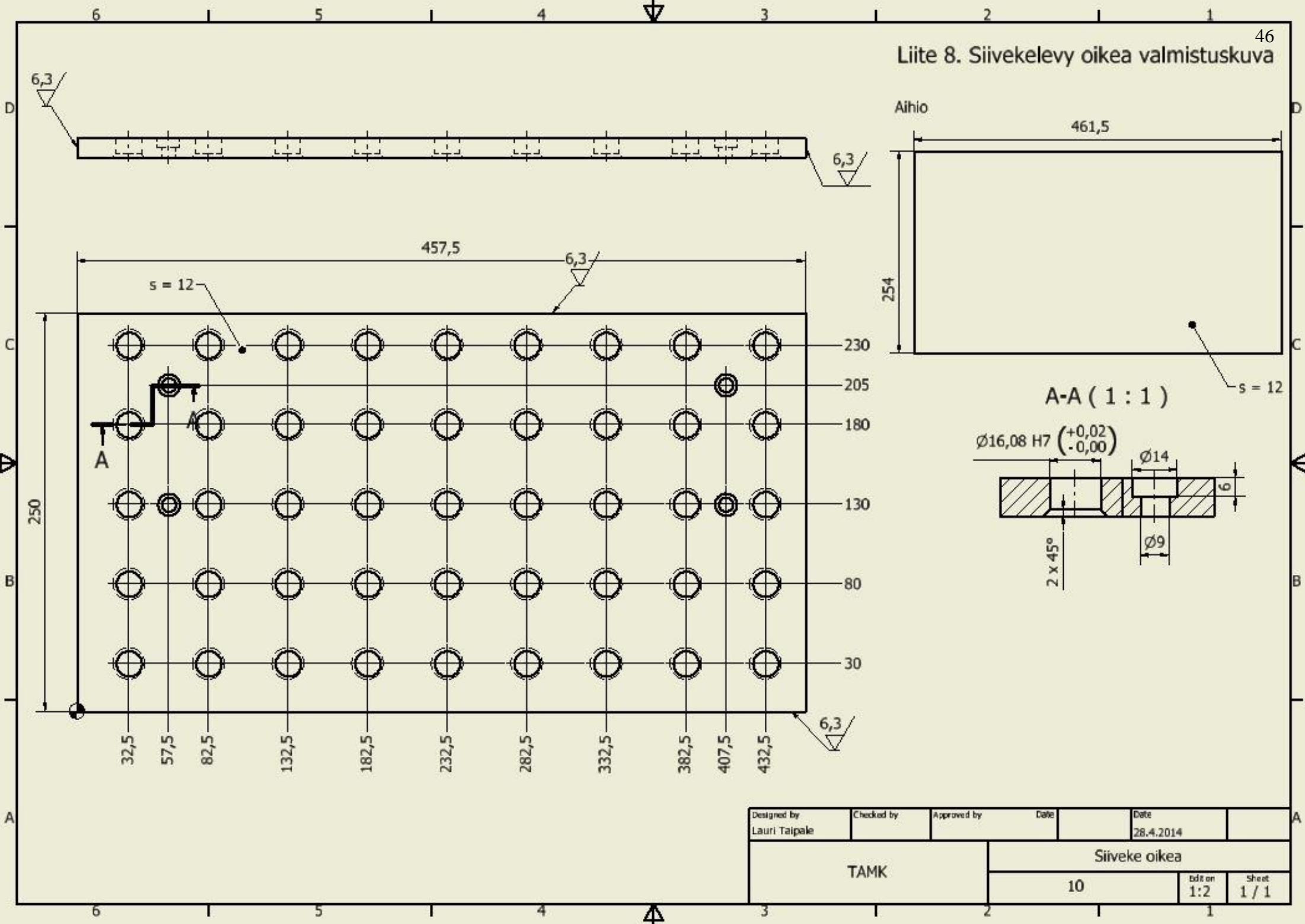


A-A (1 : 1)

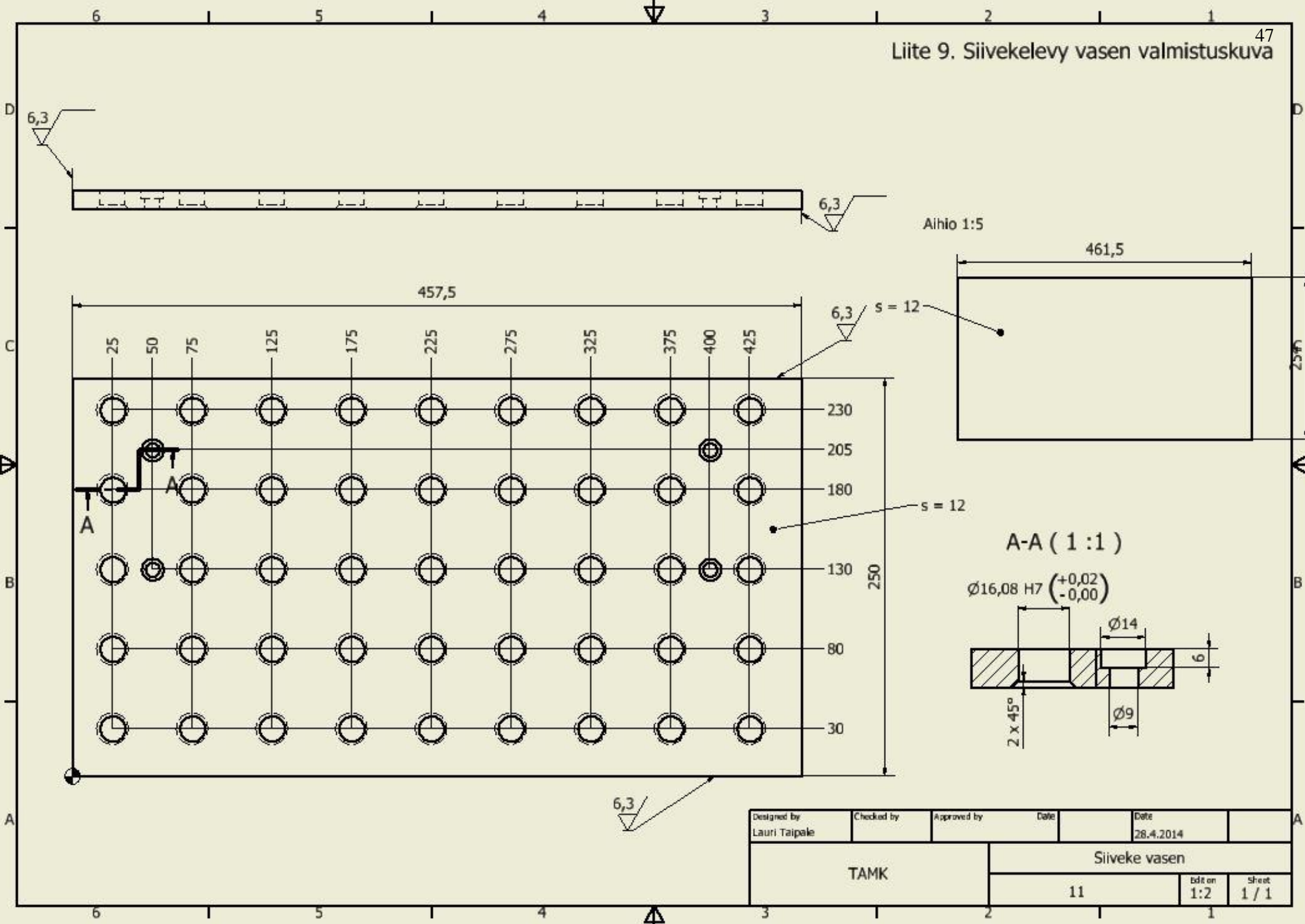


Designed by Lauri Taipale	Checked by	Approved by	Date	Date 30.4.2014	
TAMK			Jousitapin aluslevy		
			9	edit on 1:1	Sheet 1 / 1

Liite 8. Siivekelevy oikea valmistuskuva

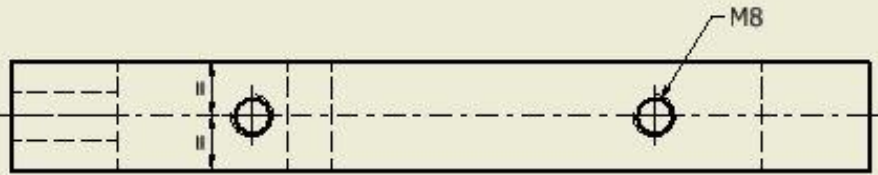
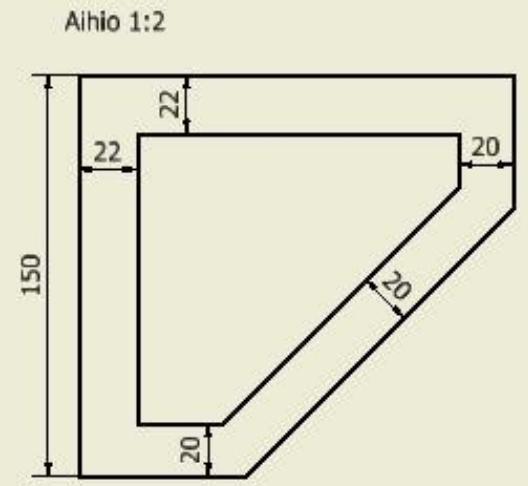
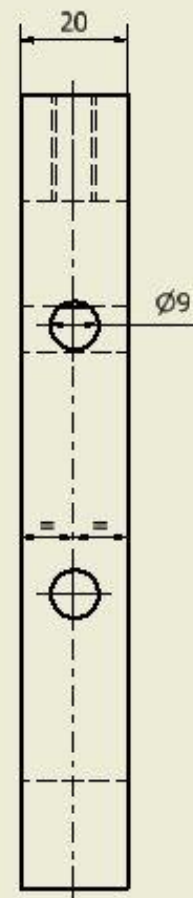
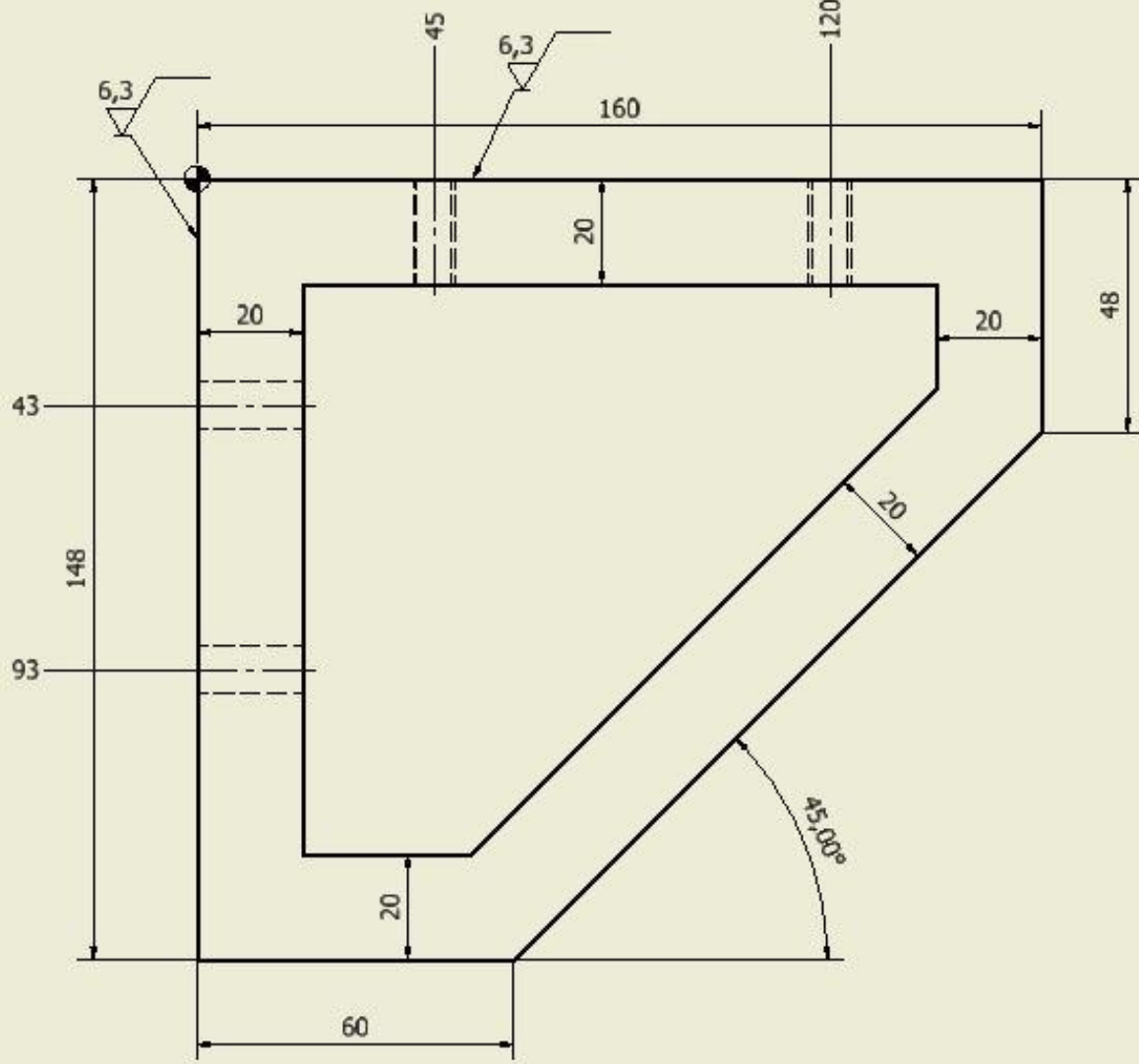


Designed by Lauri Taipale	Checked by	Approved by	Date	Date 28.4.2014	
TAMK			Siiveke oikea		
			10	Ed on 1:2	Sheet 1 / 1



Designed by Lauri Taipale	Checked by	Approved by	Date	Date 28.4.2014	
TAMK			Siiveke vasen		
			11	edt on 1:2	Sheet 1 / 1

Liite 10. Siivekkeen kannattimen valmistuskuva



Designed by Lauri Taipale	Checked by	Approved by	Date	Date 28.4.2014	
TAMK			Siivekkeen kannike		
			12	Ed on 1:1	Sheet 1 / 1

Alumiini EN AW 6082

Lämpökäsittelyyn soveltuva 6082 on keskiluja rakennuseos, jonka väsytykestävyys on keskitasoa. Siinä yhdistyvät erittäin hyvä korroosionkestävyys ja hitsattavuus, joka on seurausta hitsausvyöhykkeen alhaisemmista lujuusarvoista. Tärkeitä etuja ovat myös hyvä työstettävyys sekä stabiloivan lämpökäsittelyn jälkeinen kylmämuovattavuus. Tuote ei sovellu monimutkaisiin profiileihin.

Käyttökohteet:

- kiskobussit, kuorma-autojen rungot, laivanrakennus, sillat, sotilaalliset sillat, polkupyörät, kuumavesisäiliöt
- lavat, ulkonemat, hydraulijärjestelmät, kaivoslaitteet, moottoriveneet, pylvääät ja mastot
- Raskaat rakenteet:
- Konesovellukset:

Tämä ohjelehti on tarkistettu mahdollisimman huolellisesti. Emme kuitenkaan vastaa mahdollisista virheistä tai tietojen vääristä soveltamisesta aiheutuneista välttämistä tai välillisistä vahingoista. Oikeudet muutoksiin pidätetään.

Copyright © 2014 Rautaruukki Oyj. Kaikki oikeudet pidätetään.



Mitat

- EN AW 6082 T6 (AlSi1MgMn)
- Ruukin Norjan varastosta
- Materiaali standardin EN 573-3 mukaan
- Toleranssit standardien EN 485-4, 485-4 mukaan
- Toimitustila T6
- Pakkaukset: levyt á 500 kg/nippu ja 1 000 kg/nippu
- Aineodistus EN 10204 / 3.1

Mitat mm			Teor. paino
Paksuus	Leveys	Pituus	kg/yksikkö
8	1270	2520	71.69
10	1270	2520	89.61
12	1270	2520	107.53
15	1270	2520	134.42
20	1270	2520	179.22
25	1270	2520	224.03
30	1270	2520	268.83
40	1270	2520	358.44